

Pferdeklinik der Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich
Direktor: Prof. Dr. med. vet. Jörg A. Auer

Arbeit unter der Leitung von Dr. med. vet. Anton Fürst

**Beschreibung und Analyse der Frakturkonfigurationen
bei Radius und Tibia des Pferdes
nach einem experimentellen Schlag**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der
Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

vorgelegt von

Susanne Katherina Sian-Ling Oswald

Tierärztin
von Niederurnen (GL)

genehmigt auf Antrag von

Prof. Dr. Jörg A. Auer, Referent

Prof. Dr. Hans Geyer, Korreferent

Zürich 2006

Meinen Eltern Kaspar und Lian-Tien Oswald-Oey gewidmet

*Je mehr man schon weiss,
umso mehr hat man noch zu lernen
(Schlegel)*

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung.....	6
Summary.....	7
1. EINLEITUNG, PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG.....	8
1.1 Einleitung.....	8
1.2 Problemstellung.....	8
1.3 Zielsetzung.....	9
2. GRUNDLAGEN AUS DER LITERATUR	11
2.1 Struktur und Eigenschaften des Knochens.....	11
2.2 Physikalische Grundlagen der Bruchmechanik	13
2.3 Beispiele von Belastungen am Knochen des Pferdes	18
2.4 Fraktur	20
2.5 Frakturklassifikation	21
2.6 Schlagverletzungen	22
2.7 Simulierung eines Hufschlags	23
3. MATERIAL UND METHODEN	24
3.1 Untersuchungsmaterial.....	24
3.2 Präparation und Vorbereitung der Knochen	24
3.3 Bruchversuch.....	28
3.4 Dokumentation der Frakturen	31
3.5 Analyse und Klassifikation der Frakturen.....	33
4. ERGEBNISSE.....	37
4.1 Frakturklassifikation	37
4.2 Entstandene Frakturbilder	45
4.3 Zeitlicher Verlauf der Fraktur	50
4.4 Statistische Auswertungen	52
4.5 Detaillierte Beschreibung aller Frakturen.....	61
5. DISKUSSION	65
5.1 Material und Methoden	65
5.2 Ergebnisse.....	68
6. LITERATURVERZEICHNIS	76
7. ANHANG.....	82
8. DANKSAGUNG.....	154

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Graphische Darstellung der Formveränderungen eines Knochens	12
Abb. 2: Verformung eines Körpers infolge Zugbelastung	14
Abb. 3: Verformung eines Körpers infolge Druckbelastung.....	14
Abb. 4: Verformung eines Körpers infolge Biegebelastung.....	15
Abb. 5: Verformung eines Körpers infolge Schubbelastung.....	15
Abb. 6: Verformung eines Körpers infolge Torsionsbelastung	16
Abb. 7: Gleichbeine eines Pferdes unter Zugbelastung	18
Abb. 8: Kronbein eines Pferdes unter Druckbelastung.....	18
Abb. 9: Biegebelastung nach einem Schlag.....	19
Abb. 10: Fesselbein eines Pferdes unter Torsionsbelastung	19
Abb. 11: Knochen ohne Weichteilgewebe.....	26
Abb. 12: Kürzung des Knochens mit der Bandsäge	26
Abb. 13: Knochen präpariert und eingegossen	26
Abb. 14: Knochen eingewickelt in NaCl getränktes Tuch.....	27
Abb. 15: In Plastik verpackter und gekennzeichneteter Knochen	27
Abb. 16: Skizze des Versuchsaufbaus.....	28
Abb. 17: Schlagkörper.....	28
Abb. 18: Fallturm.....	29
Abb. 19: Knochen kurz vor Bruch	29
Abb. 20: Knochen gebrochen.....	29
Abb. 21: Digitalaufnahme eines gebrochenen Knochens	31
Abb. 22: Bildsequenzen der Hochgeschwindigkeitskamera.....	32
Abb. 23: Siremobil Iso-C 3D.....	33
Abb. 24: Osirix: Knochenquerschnitt direkt beim Impact.....	34
Abb. 25: Osirix: Gleicher Knochenquerschnitt etwas distal des Impacts.....	34
Abb. 26: Osirix: Proximale Knochenoberfläche	35
Abb. 27: Osirix: Distale Knochenoberfläche.....	35
Abb. 28: Fraktуреinteilung	37
Abb. 29: Haarriss	38
Abb. 30: Impressionsfraktur	38
Abb. 31: Subperiostale Fraktur	39
Abb. 32: Fissur.....	39

Abb. 33: Querfraktur.....	40
Abb. 34: Schrägfraktur	40
Abb. 35: Spiralfaktur	40
Abb. 36: Längsfraktur.....	41
Abb. 37: S-förmige Schrägfraktur.....	41
Abb. 38: V-förmige Schrägfraktur.....	41
Abb. 39: Ausgesprengter Keil auf der Zugseite.....	42
Abb. 40: Ausgesprengter Keil auf der Druckseite	42
Abb. 41: Vollständig ausgebrochene Keile.....	43
Abb. 42: Unvollständig ausgebrochene Keile.....	43
Abb. 43: Spiralförmige komplexe Fraktur	44
Abb. 44: Etagenförmige komplexe Fraktur	44
Abb. 45: Irreguläre komplexe Fraktur.....	44
Abb. 46: Radius links, Fissur auf medialer Seite.....	46
Abb. 47: Tibia links, Schrägfraktur von medial nach lateral.....	47
Abb. 48: Radius rechts, Querfraktur mit gezackter Bruchlinie.....	47
Abb. 49: Tibia links, Längsfraktur	48
Abb. 48: Keil mit Keilbasis auf der Gegenseite der einwirkenden Kraft.....	48
Abb. 51: Schmäler Keil, mit Querfraktur zum Auftreffpunkt verbunden.....	49
Abb. 52: Mittlerer Keil, mit Querfraktur zum Auftreffpunkt verbunden	49
Abb. 53: Grosser Keil, längs fragmentiert und unvollständig ausgebrochen	50
Abb. 54: Zeitliche Abfolge einer Querfraktur	50
Abb. 55: Zeitliche Abfolge einer Schrägfraktur.....	50
Abb. 56: Zeitliche Abfolge einer Keilfraktur	51

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Signalement der Pferde.....	24
Tabelle 2: Übersicht der entstandenen Frakturbilder	45
Tabelle 3: Häufigkeit der entstandenen Frakturbilder.....	52
Tabelle 4: Häufigkeit der Frakturbilder bei Radius & Tibia	53
Tabelle 5: Häufigkeit der Frakturbilder der rechten & linken Gliedmasse.....	54
Tabelle 6: Häufigkeit der Frakturbilder bei Wallach & Stute	55
Tabelle 7: Häufigkeit der Frakturbilder in Abhängigkeit des Alters	56
Tabelle 8: Häufigkeit der Frakturgruppen bei Radius & Tibia	58
Tabelle 9: Abhängigkeit der Frakturgruppen von Radius & Tibia	58
Tabelle 10: Häufigkeit der Frakturgruppen der linken & rechten Gliedmassen	59
Tabelle 11: Abhängigkeit der Frakturgruppen von der linken & rechten Gliedmasse	59
Tabelle 12: Häufigkeit der Frakturgruppen bei Wallach & Stute.....	60
Tabelle 13: Abhängigkeit der Frakturgruppen von Wallach & Stute	60

DIAGRAMMVERZEICHNIS

Diagramm 1: Häufigkeit der entstandenen Frakturbilder	52
Diagramm 2: Frakturbilder bei Radius & Tibia	53
Diagramm 3: Frakturbilder der linken & rechten Gliedmasse	54
Diagramm 4: Frakturbilder bei Wallach & Stute	55
Diagramm 5: Frakturbilder in Abhängigkeit des Alters	56
Diagramm 6: Frakturgruppen bei Radius & Tibia in Prozent	58
Diagramm 7: Frakturgruppen der rechten & linken Gliedmasse	59
Diagramm 8: Frakturgruppen bei Wallach & Stute in Prozent	60

ZUSAMMENFASSUNG

Das Ziel der Arbeit war die Erfassung von Frakturbildern bei Radius und Tibia nach einem simulierten Hufschlag. Hierzu wurden 71 Knochen von toten erwachsenen Pferden experimentell gebrochen. Knochen der linken und rechten Gliedmasse wurden unter axial einwirkendem Druck in eine Halterung eingespannt und der Hufschlag durch einen auf die Diaphyse herabfallenden Stahlzylinder nachgeahmt. Alle Bruchversuche wurden mit einer Hochgeschwindigkeitskamera gefilmt. Nach dem Schlag wurden die Knochen fotografiert und radiologisch mit dem Siremobil Iso-C 3D durchleuchtet. Mit Hilfe der Software Osirix konnten die gebrochenen Knochen am Computerbildschirm dreidimensional rekonstruiert und die Fraktur- und Fissurlinien genau beschrieben werden.

Es entstanden 1 Längs-, 2 Quer-, 17 Schräg- und 22 Keilfrakturen. Die Keile brachen auf der Schlaggegenseite aus. 3 Knochen zeigten keine Schädigung, 26 Knochen hatten nur eine Fissur und 97 % der kompletten Frakturen wiesen zusätzliche Längsfissuren auf. Es wurde eine signifikante Abhängigkeit zwischen der Knochenart und den entstandenen Frakturkonfigurationen festgestellt: Bei der Tibia wurden vermehrt Keil- und Schrägfrakturen beobachtet, beim Radius öfters Fissuren. Das erarbeitete Grundwissen über mögliche Bruchbilder erleichtert die Interpretation von Röntgenbildern nach Schlagverletzungen. Frakturen und Fissuren können besser eingeschätzt werden, was zu einer Optimierung der operativen Fixation führt. Damit wird die Prognose für stabilisierte Frakturen beim Pferd verbessert.

SUMMARY

The goal of this study was to determine the fracture patterns of the equine radius and tibia after a simulated kick from a horse. A total of 71 bones from 19 dead adult horses were used. Bones of the right or left limb were placed securely in a holder under axial pressure in a horizontal position, and a kick was simulated by a steel cylinder weighing 2 kg that was dropped onto the diaphysis from a height of 2,5 m to 8 m. All simulated kicks were filmed using a high-speed camera. Afterwards, the bones were photographed and examined radiographically using the Siremobil Iso-C 3D system. The fracture sites were reconstructed three-dimensionally on a computer screen using a software program (Osirix) that allowed the fracture and fissure lines to be seen in detail.

There were 22 wedge, 17 oblique, two transverse and one longitudinal fractures. The wedge fractures occurred on the side opposite the impact. Three of the bones showed no damage, 26 incurred only a fissure fracture (incomplete fracture), and 97% of the complete fractures also had longitudinal fissures. There was a significant association between the anatomical bone specimen and the fracture pattern; the tibia incurred more wedge and oblique fractures, whereas fissure fractures occurred more often in the radius. This experimental study provides three-dimensional radiographic details of a range of tibial and radial fractures; the knowledge gained can be used to facilitate the interpretation of radiographs of fractures resulting from a kick. This in turn will improve evaluation and stabilization of clinical fractures, thereby improving the patient's prognosis.

1. Einleitung, Problemstellung und Zielsetzung

1.1 Einleitung

Seit dem 2. Weltkrieg hat sich in der Schweiz die Nutzung des Pferdes grundlegend verändert: Wurden sie früher primär als Zugtiere in der Landwirtschaft, im Nahtransport oder in der Armee eingesetzt, so hält man sie heute hauptsächlich für den Sport und die Freizeit [1].

Im Zusammenhang mit dieser Entwicklung werden vor allem seitens der Freizeitreiter immer mehr Alternativen zur konventionellen Einzelhaltung gefordert. Zahlreiche Besitzer wünschen sich für ihre Pferde die Möglichkeit eines gemeinsamen Auslaufs mit ihren Artgenossen oder suchen nach einem Platz in einem Gruppenhaltungssystem. Diese moderneren Haltungsformen erlauben eine gewisse Annäherung an die natürliche Lebensweise der Pferde im Herdenverband. Allerdings bergen sie auch Risiken: Derungs stellte in einer retrospektiven Studie über Schlagverletzungen fest, dass 71 % der Schlagverletzungen beim Weidegang mit anderen Pferden entstehen. Aus diesen resultiert in rund 47 % der Fälle eine Fraktur [2].

1.2 Problemstellung

In einem 1958 publizierten Lehrbuch über die spezielle Chirurgie für Tierärzte wurde noch gelehrt, dass vollständige Brüche der Tibia bei ausgewachsenen Pferden grundsätzlich unheilbar seien [3]. 1986 formulierten Sanders et al. schlechte Prognosen für Radiusfrakturen bei adulten Pferden [4]. 1987 beschrieben zudem Auer und Watkins schlechte Prognosen für die Radiusfrakturen [5]. Auch heute sind die chirurgischen Behandlungen von Radius- und Tibiafrakturen beim Pferd eine grosse Herausforderung und die Prognosen für einen Therapieerfolg häufig ungünstig. Im Gegensatz dazu können bei Hund und Katze Radius- und Tibiafrakturen meist Erfolg versprechend therapiert werden. Diese Unterschiede beruhen teilweise darauf, dass beim Pferd durch das eigene Körpergewicht grosse Kräfte auf die Gliedmassen einwirken, was zu einem Versagen der Implantate führen kann. Das Pferd ist zudem ein Fluchttier und der natürliche Instinkt veranlasst das Tier nach einer Operation möglichst schnell aufzustehen. Dadurch kann es nach intraoperativer Stabilisierung bei den Aufstehversuchen der Pferde in der Aufwachboxe zu einem erneuten Bruch kommen. Die erhebliche Belastung kann wie

vorgängig schon erwähnt, zu einem sofortigen Versagen des eingesetzten Implantats führen. Dies kann aber durchaus noch in den nachfolgenden Tagen und Wochen geschehen. Neuere Entwicklungen, wie das mit Wasser gefüllte Aufwachbecken der Vetsuisse Fakultät an der Universität Zürich, können das Risiko eines neuerlichen Bruches vermindern und so die Prognose deutlich verbessern.

Trotz ungünstiger oder vorsichtiger Prognose entscheiden sich immer mehr Besitzer für eine Operation. So konnten die Chirurgen der Vetsuisse Fakultät Zürich in den letzten Jahren nebst Misserfolgen doch auch Pferde mit erfolgreich stabilisierten Frakturen von Radius und Tibia nach Hause entlassen. Dies zeigt, dass die früher gängige Lehrmeinung der Unheilbarkeit solcher Frakturen zumindest teilweise überholt ist.

1.3 Zielsetzung

Es existiert wenig Literatur über Radius- und Tibiafrakturen und deren Therapie beim Pferd. Der Grund liegt vermutlich darin, dass einstmals Pferde mit solchen Beinbrüchen diskussionslos getötet wurden. Die zunehmende Bereitschaft der Eigentümer eine chirurgische Behandlung zu veranlassen, verlangt nach einer Weiterentwicklung auf diesem Gebiet. Dazu braucht es solide Grundlagen, um in der Praxis den Einzelfall besser klassieren, beurteilen und allenfalls therapieren zu können. Erfolge und Misserfolge sollten dokumentiert und vergleichbar gemacht werden. Dies sollte den Wissensstand vorantreiben. Vergleiche sind jedoch nur dann möglich, wenn die Chirurgen ihre unterschiedlichen Erfahrungen nach gleichen Prinzipien beschreiben. Klassifikationen dienen dazu, solche Vergleiche zu vereinfachen. Da noch keine spezifische Klassifikation der Frakturen beim Pferd existiert, sollte für die diaphysären Frakturen beim Pferd eine Klassifikation erarbeitet werden.

Das primäre Ziel dieser Dissertation stellte hingegen die Erfassung und Charakterisierung möglicher Frakturbilder nach einem Hufschlag dar. Zu diesem Zweck wurden die Frakturen von 71 Knochen, welche im Rahmen einer umfassenden Untersuchung zum Frakturverhalten von Radius und Tibia des Pferdes experimentell gebrochen wurden, exakt beschrieben und ausgewertet. Mit Hilfe dieser präzisen Auswertung sollte eine theoretische Basis erarbeitet werden, mit der die Fraktur- und Fissurlinien von Schlagverletzungen in der Klinik besser erfasst werden könnten. Dies sollte weiterführend die Interpretation von radiologischen

Befunden vereinfachen und damit die Ansatzpunkte der chirurgischen Fixation optimieren. Daneben sollte die Hypothese, dass nach einem Schlag Keilfrakturen entstehen, bestätigt oder verworfen werden.

Mit diesen neu gewonnenen Erkenntnissen müsste sich in Zukunft die Prognose von Radius- und Tibiafrakturen nach Hufschlägen nachhaltig verbessern.

2. Grundlagen aus der Literatur

2.1 Struktur und Eigenschaften des Knochens

2.1.1 Knochenformen

Knochen unterscheiden sich bezüglich ihrer Form, Grösse und Stärke. Trotz der erheblichen Variabilität der Knochen können diese nach gemeinsamen Strukturmerkmalen gegliedert werden. Man unterteilt beispielsweise in Röhrenknochen, kurze Knochen, platte Knochen, lufthaltige Knochen und unregelmässige Knochen [6].

Röhrenknochen

Für die vorliegende Studie wurden die Röhrenknochen Radius und Tibia verwendet. Der Röhrenknochen besteht aus einem Körper (Diaphyse) und zwei Endstücken (Epiphysis proximalis und Epiphysis distalis). Die Diaphyse besteht oberflächlich aus einem dichten Knochenmantel, welcher die innen liegende Markhöhle umschliesst. Die Epiphysen sind jeweils mit einer dünnen Knochenrinde überzogen und bestehen im Innern aus einem Bälkchenwerk, das ähnlich einem feinporigen, verknöcherten Schwamm aufgebaut ist. Diese Knochenform bildet die Grundlage der Gliedmassen [6].

2.1.2 Knochenaufbau

Knochengewebe enthält anorganische und organische Bestandteile. In der mineralisierten Grundsubstanz sind Knochenzellen, die Osteozyten eingebettet [7]. Wird ein Knochen aufgeschnitten, so sind jeweils spongiöse und kompakt gebaute Abschnitte erkennbar. Die Spongiosa stellt ein dreidimensionales Gerüst aus feinen Knochenbälkchen dar, deren Dicke und räumliche Anordnung von der mechanischen Beanspruchung und Funktion des jeweiligen Knochens abhängt. Sie befindet sich im Knocheninneren, vor allem aber im Bereich der Epiphysen der Röhrenknochen. Die Kompakta hingegen besteht aus Lamellenknochengewebe, welches den gesamten Aussenbereich eines Knochens bildet und am Schaft von Röhrenknochen besonders dick ist. Die Anordnung von Kompakta und Spongiosa entspricht dem Prinzip der „Leichtbauweise“, in welcher mit minimalem Einsatz an Baumaterial maximale Festigkeit erreicht wird [8].

2.1.3 Knochenfestigkeit

Ein Knochen verformt sich unter der Einwirkung einer äusseren Belastung. Dabei zeigt er ein elastisches Verhalten (siehe Kapitel 2.2.2). Die belastungsabhängigen Formveränderungen lassen sich gut in einer Last-Deformations-Kurve darstellen (Abb. 1).

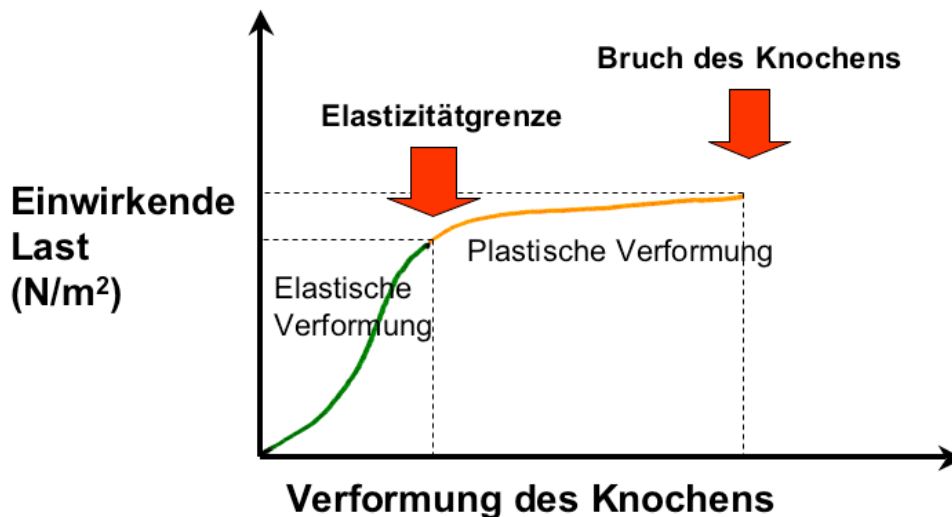


Abb. 1: Graphische Darstellung der Formveränderungen eines Knochens

2.1.4 Spezielle Materialeigenschaften des Knochens

Knochen besitzt die Fähigkeit, seine Form, Struktur und Masse zu ändern, um seine mechanische und metabolische Funktion in idealer Weise zu erfüllen [9].

Anisotropie

Die Stabilität eines Knochens variiert je nach Belastungsrichtung der einwirkenden Kräfte. Ein Röhrenknochen ist in seiner Längsachse gegen axial einwirkende Kräfte widerstandsfähiger als gegen Kräfte, die horizontal angreifen [10, 11].

Viskoelastizität

Die Stabilität eines Knochens variiert mit der Geschwindigkeit der einwirkenden Kraft. Mit zunehmender Geschwindigkeit der einwirkenden Kraft steigt auch die maximale Belastungsfähigkeit des Knochens [12]. Knochengewebe kann demnach bei schnellen Belastungen mehr Energie aufnehmen als bei langsamen. Kommt es aber zum Bruch des Knochens, so wird die gespeicherte Energie in Form einer grösseren Zertrümmerung wieder abgegeben [13].

2.2 Physikalische Grundlagen der Bruchmechanik

Verformung und Bruch eines Knochens können durch die Einwirkung von äusseren Kräften verursacht werden.

2.2.1 Kraft

Eine Kraft kann zwei Wirkungen hervorrufen:

1. Ein frei beweglicher Körper wird durch eine Kraft in Bewegung gesetzt. Ist der Körper schon in Bewegung, so wird sein Bewegungszustand durch die Kraft verändert.
2. Ein befestigter Körper wird durch die an ihm angreifenden Kräfte verformt.

Eine Kraft wirkt zudem stets in einer bestimmten Richtung [14]. Sie wird durch die Angaben des Angriffspunkts, der Grösse und der Richtung beschrieben.

2.2.2 Elastische Eigenschaften fester Körper

Wirken auf einen Körper Kräfte, deren Angriffspunkte nicht zusammenfallen, so treten Form- und Volumenveränderungen auf. Fällt der Körper wieder in seinen ursprünglichen Zustand zurück sobald die äusseren Kräfte aufhören zu wirken, so zeigt der Körper eine elastische Verformung. Diese Elastizität ist materialabhängig. Wird die Elastizitätsgrenze eines Körpers überschritten, kommt es zu einer plastischen Verformung des Körpers. Dabei treten im Innern des Körpers gegenseitige Verschiebungen auf, welche nach Aufhören der Kraftwirkung nicht mehr verschwinden, sodass eine dauernde Verformung zurückbleibt. Wird die Elastizitätsgrenze eines Körpers massiv überschritten, verliert der Körper seinen inneren Zusammenhalt und bricht [15].

Zug

Wird ein Körper auf Zug beansprucht, so erfährt er eine Verlängerung. Die Verlängerung des Körpers ist proportional zur Belastung und umgekehrt proportional zum Körperquerschnitt. Damit kommt es bei der Längenausdehnung eines Körpers durch Zug stets zu einer Verminderung seines Körperquerschnitts (Abb. 2).

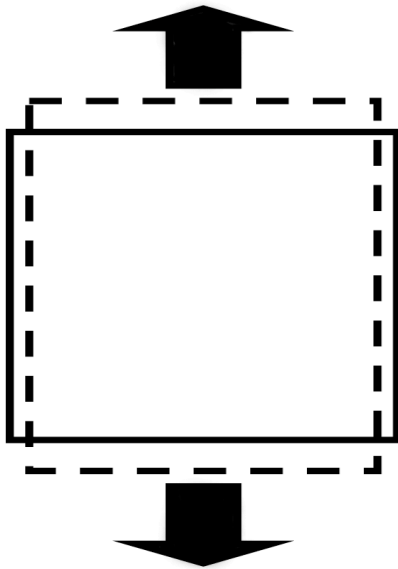


Abb. 2: Verformung eines Körpers infolge Zugbelastung

Druck

Wird ein Körper auf Druck beansprucht, so tritt eine Verkürzung des Körpers ein. Die Verkürzung ist proportional zur Belastung und umgekehrt proportional zum Körperquerschnitt. Damit kommt es bei der Kompression eines Körpers stets zu einer Vergrößerung seines Körperquerschnitts (Abb. 3).

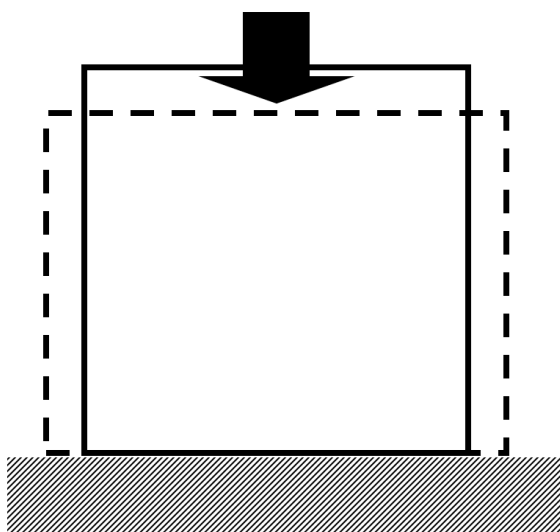


Abb. 3: Verformung eines Körpers infolge Druckbelastung

Biegung

Wird ein Körper auf Biegung beansprucht, so wirken gleichzeitig Zug- und Druckkräfte. Die Konvexe Seite unterliegt einer Zugkraft, womit eine beliebige Faser dieser Seite verlängert wird. Die Konkavseite unterliegt einer Druckkraft, womit eine beliebige Faser dieser Seite entsprechend verkürzt wird (Abb. 4).

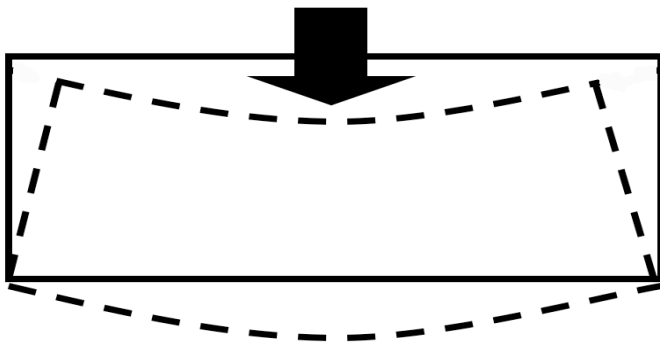


Abb. 4: Verformung eines Körpers infolge Biegebelastung

Schub

Wird ein Körper auf Schub beansprucht, so wirken die Kräfte tangential ein (Abb. 5).

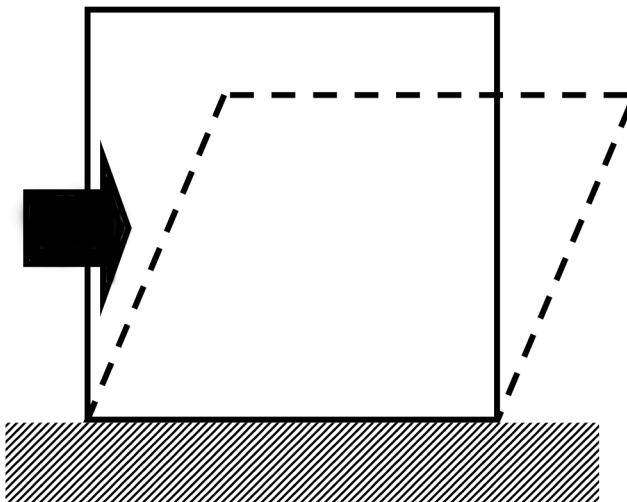


Abb. 5: Verformung eines Körpers infolge Schubbelastung

Torsion

Wird ein Körper auf Torsion beansprucht, so wirken Drehmomente am Körper, welche senkrecht zur Körperachse liegen (Abb. 6).

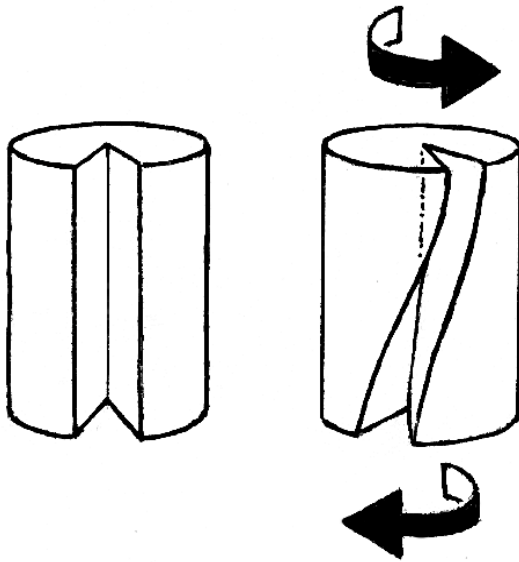


Abb. 6: Verformung eines Körpers infolge Torsionsbelastung

2.2.3 Mechanische Spannung (Druck)

Die mechanische Spannung ist definiert als die Kraft pro Flächeneinheit, die in einer gedachten Schnittfläche durch einen Körper, eine Flüssigkeit oder ein Gas wirkt. In einem Körper treten auch ohne äusserlich einwirkende Kräfte Spannungen auf. Sie werden Eigenspannungen genannt. Wird ein Körper einer äusseren Belastung ausgesetzt, so entsteht durch intermolekulären Widerstand eine Gegenkraft im Innern des Körpers [16]. Die so erzeugten Spannungen können in Normal (Zug/Druck)- und Schubspannungen unterteilt werden [17].

2.2.4 Bruchmechanik

Die mechanische Beanspruchung eines Körpers kann neben der elastischen und plastischen Verformung auch zum Bruch führen, d.h. zu der makroskopischen Trennung eines Körpers infolge Lösung von atomaren Bindungen. Dabei fehlt eine in sich geschlossene Beschreibung der Bruchvorgänge, da sehr viele Mechanismen zu berücksichtigen sind [18].

Über die Bruchmechanik des Knochens existieren verschiedene Theorien. Leitz formulierte die Schubbruchhypothese, wonach Schubspannungen für die Bruchentstehung des Knochens verantwortlich sind [19]. Andere Autoren beschreiben, dass der Knochen am Ort der grössten Zugspannung reisst [17, 20]. Neuere Studien weisen darauf hin, dass die Bruchmechanik stark von der gewöhnlichen Belastung eines Knochens abhängt. Dabei können die verschiedenen Seiten eines Knochens im Alltag unterschiedlichen Belastungen ausgesetzt sein. Beispielsweise wird die kraniale Seite des Radius beim Pferd vor allem auf Zug belastet und die kaudale Seite vor allem auf Kompression. Diese Ungleichheiten führen zu mannigfacher Anordnung von Knochengewebe, was in Folge zu einer unterschiedlichen Bruchmechanik führt [21].

2.3 Beispiele von Belastungen am Knochen des Pferdes

2.3.1 Zugbelastung

Durch übermäßige Zugbelastung des Fesselträgers und Druck der Gleichbeine entstehen beispielsweise beim Rennpferd Gleichbeinfrakturen (Abb. 7) [22].

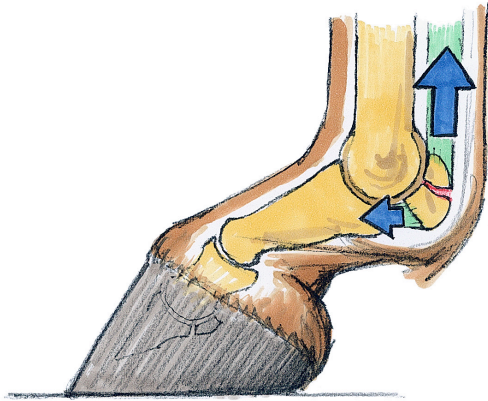


Abb. 7: Gleichbeine eines Pferdes unter Zugbelastung

2.3.2 Druckbelastung

Beim Menschen sind Wirbelkörperbrüche häufig durch Druckkräfte bedingt [23, 24]. Bei Pferden bricht beispielsweise das Kronbein (Abb. 8) oder das Fesselbein in Folge von extremen Druckbelastungen [25]. Zu erwähnen sind auch die Karpalknochenbrüche bei den Rennpferden, welche ebenfalls durch abnorm hohe Druckeinwirkungen verursacht werden [26].

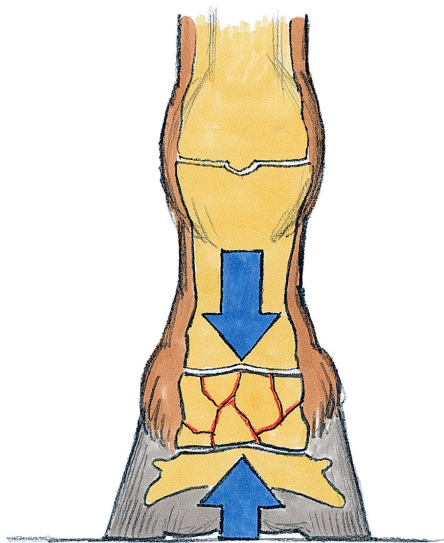


Abb. 8: Kronbein eines Pferdes unter Druckbelastung

2.3.3 Biegebelastung

Die Biegung eines Knochens führt zu einer Formveränderung des Knochens. Durch die Verformung entsteht auf der Konvexseite (Zugseite) eine Verlängerung und auf der Konkavseite (Druckseite) eine Verkürzung des Knochens. Wird ein Pferd von einem anderen Pferd geschlagen, so wird der betroffene Knochen des getroffenen Pferdes einer Biegebelastung ausgesetzt (Abb. 9) [27, 28].

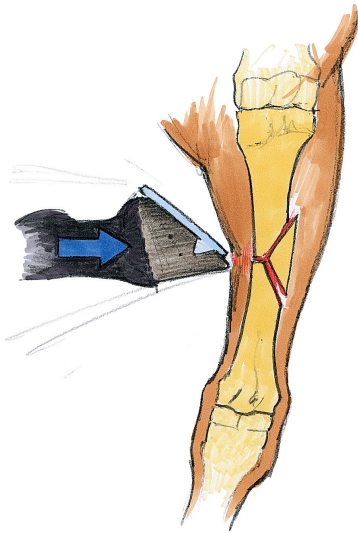


Abb. 9: Biegebelastung nach einem Schlag

2.3.4 Torsionsbelastung

Bei der Torsionsbelastung wird der Knochen um sich selbst gedreht. Es bilden sich Zugspannungen von 45° zur Längsachse und Schubspannungen, die an den Rändern maximal und in Längsrichtung grösser sind als in Querrichtung [27]. Beim Pferd sind Fesselbeinfrakturen oft auf eine übermässige Torsionsbelastung zurückzuführen (Abb. 10) [25].

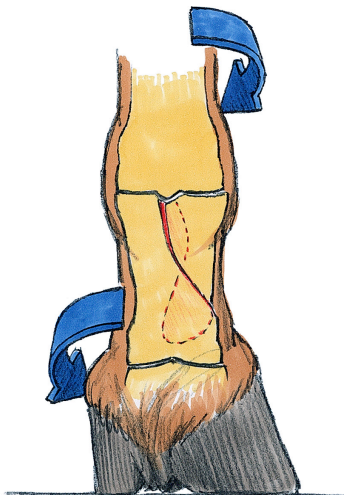


Abb. 10: Fesselbein eines Pferdes unter Torsionsbelastung

2.4 Fraktur

2.4.1 Definition

Das Wort Fraktur leitet sich aus dem lateinischen frangere/fractum ab, was ins Deutsche übersetzt brechen, zerbrechen/zerbrochen bedeutet. Eine Fraktur ist definiert als eine Kontinuitätsunterbrechung des Knochens mit der Bildung von Fragmenten [29].

2.4.2 Frakturgenese

Verschiedene äussere oder innere Einflüsse auf den Knochen können zu einem Bruch führen:

Direktes Trauma

Der Knochen wird durch ein direktes Trauma am Ort der Krafteinwirkung gebrochen. Bei Kleintieren beobachtet man solche Brüche häufig nach Autounfällen. Bei Pferden werden Frakturen, welche Folgen eines direkten Traumas sind, vielfach durch den Huftritt eines anderen Pferdes verursacht [2, 27].

Indirektes Trauma

Bei einem indirekten Trauma wird der Knochen nicht am Ort der Krafteinwirkung gebrochen. Die zur Fraktur führende Kraft wird aus einer dem Knochen entfernten Region des Körpers übertragen und kann trotzdem zu einem Bruch dieses Knochens führen. Wird eine Sehne beispielsweise einem abnormen Zug ausgesetzt, führt dies möglicherweise dazu, dass an deren Ansatz oder Ursprung ein Stück Knochen herausgerissen wird [30].

Pathologische Fraktur

Eine pathologisch veränderte Knochenstruktur kann schon bei geringer Krafteinwirkung brechen. Beispielsweise können endokrine und neoplastische Krankheiten, sowie Fehl- oder Mangelernährung zu solchen veränderten Knochenstrukturen führen [31].

Repetitives Trauma / Ermüdungsfrakturen

Wiederholte Belastungen der Knochenstrukturen können zahlreiche Mikroläsionen im Knochengewebe verursachen, aus denen schlussendlich Frakturen resultieren

können. Diese Brüche werden auch als Stressfrakturen bezeichnet. Sie kommen beispielsweise bei marschierenden Soldaten, Rennpferden und Rennhunden vor [32-36].

2.5 Frakturklassifikation

Die Fortschritte in der operativen Fixation basieren auf dem zunehmenden Verständnis über Frakturentstehung, Knochenbiomechanik und Frakturmorphologie. Zudem trägt die zunehmende Verbesserung der Implantate zu diesem Fortschritt bei. Dabei sind die unterschiedlichen Erfahrungen, welche die Chirurgen mit neuen Operationstechniken sammeln, essentiell für die Weiterentwicklung von Fixationsmethoden. Um auf diese Weise erzielte Resultate objektiv miteinander vergleichen zu können, müssen die verschiedenen Frakturarten mit exakt definierten Begriffen beschrieben werden [37]. Klassifizierungssysteme dienen dazu, ähnliche Frakturtypen zusammenzufassen und bezüglich verschiedener Kriterien vergleichbar zu machen. Anatomische Studien, Fraktursimulationen, moderne bildgebende Verfahren und nicht zuletzt die operative Erfahrung haben zu einer fast unüberblickbaren Zahl von Frakturklassifikationen geführt [38]. Die meisten betreffen jedoch nur ein Knochensegment und basieren nicht auf einer systematischen Studie aller Frakturen.

2.5.1 AO-Frakturklassifikation in der Humanmedizin

Die AO Foundation (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese) ist eine medizinisch orientierte Non-Profit-Organisation mit internationaler Forschungs- und Ausbildungstätigkeit. Ziel der Stiftung ist es, den medizinischen Fortschritt in der operativen Knochenbruchbehandlung und bei Erkrankungen des Bewegungsapparates zu fördern.

Die enorme Anzahl von verschiedenen Frakturklassifikationen führte dazu, dass Müller die AO-Klassifikation im humanmedizinischen Bereich entwickelte, die eine objektive, systematische und EDV-taugliche Dokumentation der verschiedenen Frakturarten beim Menschen ermöglicht [37, 39]. Die Klassifikation besteht aus einem 5-stelligen Code, aus welchem der betroffene Knochen, das Knochensegment, der Frakturtyp, die Frakturgruppe und die Frakturuntergruppe ableitbar sind. Mit dieser Charakterisierung sollten Frakturen hinsichtlich ihrer

Komplexität, der Therapiemöglichkeit und Heilungsprognose leichter zu beurteilen sein. Basis der AO-Klassifikation ist die in französisch publizierte Arbeit von Müller über die Klassifikation von langen Röhrenknochen [39]. Darauf folgten Klassifikationen über Frakturen des Beckens und der Wirbelsäule. Die Klassifikation der Fuss- und Handfrakturen befindet sich noch in Entwicklung [40].

2.5.2 Frakturklassifikationen in der Veterinärmedizin

Kleintiere

Mit dem AO-Klassifizierungssystem als Arbeitsgrundlage wurde eine sehr ähnliche Klassifikation für Kleintiere entwickelt und mittels einer Anwendungsstudie bei Kleintierfrakturen getestet [41, 42]. Die so erarbeiteten Änderungen gestatten es, die verschiedenen Besonderheiten bei Kleintieren, wie Schwere und Lokalisation der Frakturen, hervorzuheben [37]. Daneben wurde zur selben Zeit von Prieur ebenfalls eine Klassifikation der Frakturen bei Kleintieren entwickelt [43].

Pferde

Für Pferde existiert bis jetzt kein Klassifikationssystem für Frakturen der langen Röhrenknochen. Einzig Fackelmann entwickelte ein Dokumentationssystem mit Beurteilungstabellen für Ermüdungsfrakturen der distalen Gliedmassen des Pferdes [44]. Daneben untersuchte Struchen die Anwendbarkeit der Frakturklassifikationen der langen Röhrenknochen bei Mensch und Kleintier für die Pferde. Seine Untersuchungen haben gezeigt, dass die drei Klassifikationsmethoden beim Pferd nur bedingt brauchbar sind, da beispielsweise die Knochen Metacarpus III und Metatarsus III beim Pferd zu den langen Röhrenknochen gehören, bei Mensch und Kleintier aber nicht. Seine Studie zeigte die Notwendigkeit der Ausarbeitung einer spezifischen Klassifikation für Pferde auf, welche die speziellen anatomischen und pathophysiologischen Verhältnisse dieser Tierart berücksichtigt [37].

2.6 Schlagverletzungen

Pferde verletzen sich sehr häufig während des Weidegangs. Diese Verletzungen werden vielfach durch Huftritte anderer Pferde verursacht [45]. Die Folgen solcher Schläge können Frakturen sein, welche von den Pferdebesitzern sehr gefürchtet sind [2].

2.6.1 Radiusfrakturen beim Pferd

Ein Grossteil der Radiusfrakturen entsteht im Zusammenhang mit einem externen Trauma, wie zum Beispiel bei Unfällen mit Kraftfahrzeugen [25] oder durch den Schlag eines anderen Pferdes [45]. Als häufigste Ursache von Radiusfrakturen nannten Sanders-Shamis et al. in ihrer retrospektiven Studie zu 47 Radiusfrakturen einen Schlag durch ein anderes Pferd [4]. Gemäss verschiedener Autoren bricht der Radius beim Pferd am häufigsten in Form einer Trümmerfraktur [4, 25, 27, 46]. Bei adulten Pferden wird die Heilungsprognose von Radiusfrakturen auch heute noch als ungünstig bezeichnet [46].

2.6.2 Tibiafrakturen beim Pferd

Als häufige Ursache der Tibiafraktur wird ebenfalls ein äusseres Trauma wie beispielsweise ein Schlag beschrieben [25, 45]. Ermüdungfrakturen der Tibia kommen vor allem bei Rennpferden vor [32]. Die durch Schille ausgewerteten Tibiafrakturen nach Schlagverletzungen sind Trümmerfrakturen oder einfache Frakturen mit Splintern, die durch einen schrägen Verlauf gekennzeichnet sind [27]. Wie bei den Radiusfrakturen werden die Heilungsprognosen auch bei den Tibiafrakturen als ungünstig bezeichnet [47].

2.7 Simulierung eines Hufschlags

Schille führte im Rahmen seiner Doktorarbeit dynamische Bruchversuche an Pferdeknochen durch. Bei seinen Nachstellungsversuchen simulierte er den Hufschlag eines Pferdes durch ein Pendel, das er im freien Fall auf die Röhrbeine unpräparierter Gliedmassen hinunter schwingen liess. Er stellte zusammenfassend fest, dass bei der dynamischen Traumatisierung des Röhrbeins einfache Frakturen (vorwiegend Querfrakturen) und Trümmerfrakturen entstehen. Bei all seinen Versuchen entstanden zusätzliche Knochensplinter und bei einem Grossteil der Versuche waren überdies Fissurlinien vorhanden [27].

3. Material und Methoden

3.1 Untersuchungsmaterial

Für die Bruchversuche wurden 35 Radii und 36 Tibiae von 19 Pferden verwendet. Diese Tiere mussten aus unterschiedlichen Gründen zwischen März 2001 und August 2004 an der Vetsuisse Fakultät der Universität Zürich getötet werden. Die Pferde waren zum Zeitpunkt der Tötung zwischen 4 und 22 Jahre alt (Tab. 1). Es wurden ausschliesslich Knochen von Tieren verwendet, welche nicht an einer diagnostizierten metabolischen Knochenerkrankung litten.

Tabelle 1: Signalement der Pferde

Alter	Geschlecht	Rasse	Tötungsgrund
9	Wallach	Hannoveraner	Hufabszess
11	Wallach	Freiberger	Kolik
11	Wallach	Freiberger	Fesselgelenksentzündung
13	Wallach	Inländer	Hufgelenksarthrose
14	Wallach	Ungare	Kissing spines
15	Wallach	Holländer	Kolik
15	Wallach	Inländer	Sehnenruptur
17	Wallach	Inländer	Verletzung
18	Wallach	Holländer	Kolik
20	Wallach	Inländer	Herzproblem
21	Wallach	Vollblut	Bänderruptur
22	Wallach	Haflinger	Kolik
4	Stute	Inländer	Epiglottis entrapement
7	Stute	Vollblut	Melanom
10	Stute	Irlander	Rückenprobleme
10	Stute	Württemberg	Verhaltensstörungen
11	Stute	Inländer	Sarkoide
14	Stute	Freiberger	Intoxikation
19	Stute	Holländer	Chronische Lahmheit

3.2 Präparation und Vorbereitung der Knochen

Unmittelbar nach der Tötung der Pferde wurden die Vordergliedmassen proximal beim Ellbogengelenk und distal bei den Carpalgelenken abgesetzt; die Hintergliedmassen proximal beim Kniegelenk und distal bei den Tarsalgelenken. Danach wurden die abgesetzten Gliedmassen enthäutet, in mit Kochsalzlösung getränkte Tücher gewickelt und bis zur weiteren Verarbeitung in einem Kühlraum bei

–20°C gelagert. Zwei Wochen vor Versuchsbeginn wurden die Knochen wieder aufgetaut und für die Bruchversuche fertig präpariert.

Präparationsschritte Radius/Tibia

1. Entfernen des Weichteilgewebes (Abb. 11) (Muskeln, Sehnen, Bänder, etc.)
2. Abtrennen der Ulna beim Radius bzw. der Fibula bei der Tibia mit einer Bandsäge (Bandsäge K 410, Firma Kolbe GmbH, Elchingen, D)
3. Beidseitiges Kürzen der Proben auf eine Gesamtlänge von 38 cm (Abb. 12)
4. Entfernen der Knochenhaut im Bereich der Schlaglokalisation (ca. 6 cm breit)
5. Markieren der Schlaglokalisation auf der medialen Seite
6. Eingiessen des proximalen und distalen Knochenendes in Kunstharz (Abb. 13) (Mischung 1:1 von Harz Biresin® G28 und Härter Biresin® G26, Firma Sika Deutschland GmbH, Bad Urach, D)
7. Kennzeichnen der Probe mittels beschrifteter Etikette (Abb. 14)

Die Proben wurden für Aufnahmen mit dem XtremeCT auf eine Gesamtlänge von 38 cm gekürzt. Der XtremeCT ist ein Computertomograph, welcher mikro-computertomographische Bilder macht und einer limitierten Probengrösse bedarf. Diese Daten wurden im Rahmen der umfassenden Untersuchung zum Frakturverhalten von Radius und Tibia des Pferdes benötigt und wurden von Meier in ihrer Arbeit über die Mikro-computertomographische Untersuchung von Pferdeknochen ausgewertet [48]. Damit stammen die in dieser Studie ausgewerteten Frakturen von Knochen, die vorgängig schon sehr gut charakterisiert worden sind. Nach der Präparation wurden die Proben wiederum in mit Kochsalzlösung getränkte Tücher gewickelt und einzeln in Plastiksäcken verschlossen, um die Austrocknung des Knochengewebes zu verhindern (Abb. 15). Bis zum definitiven Versuchsbeginn erfolgte die Lagerung in einem Kühlraum bei 4°C.

Illustration der Knochenpräparation:

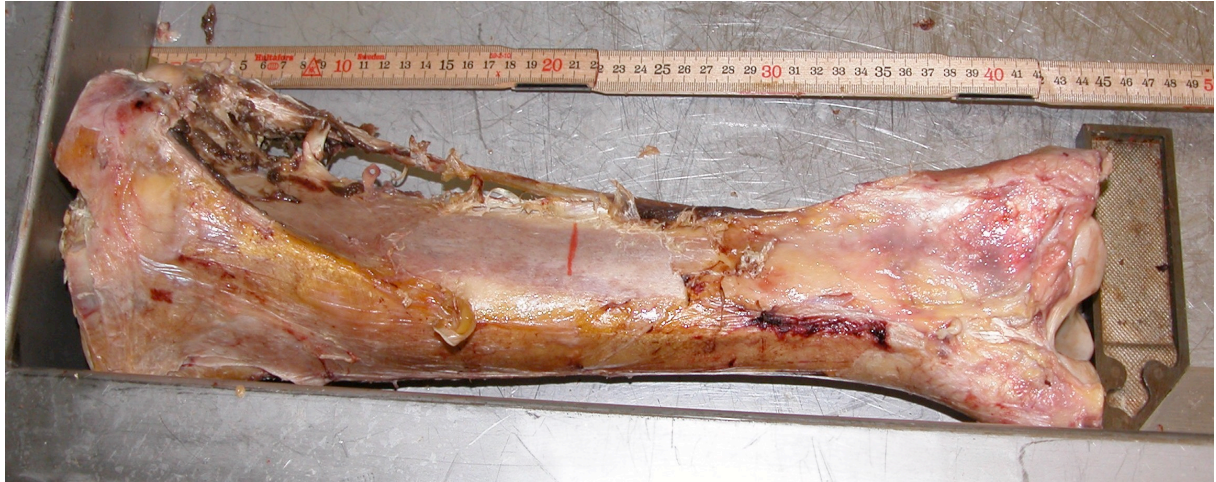


Abb. 11: Knochen ohne Weichteilgewebe



Abb. 12: Kürzung des Knochens mit der Bandsäge



Abb. 13: Knochen präpariert und eingegossen



Abb. 14: Knochen eingewickelt in NaCl getränktes Tuch



Abb. 15: In Plastik verpackter und gekennzeichnete Knochen

3.3 Bruchversuch

3.3.1 Versuchsaufbau (Abb. 16)

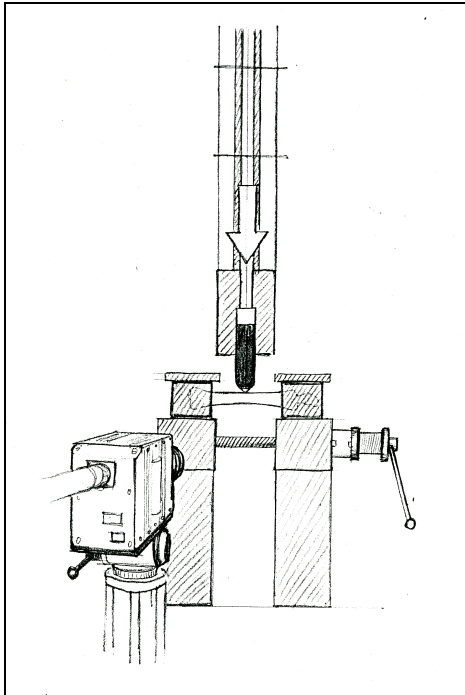


Abb. 16: Skizze des Versuchsaufbaus

Schlagkörper

Der Schlagkörper setzte sich aus zwei Teilen zusammen. Die Spitze wurde einer Hufeisenkante nachgeformt und bestand aus einem Stahl-Halbzylinder mit einem Radius von 10 mm. Sie wurde auf dem zweiten Teil des Schlagkörpers, einem rechteckigen Aluminiumblock befestigt (Abb. 17). Das Gesamtgewicht des Fallkörpers betrug 2 kg und entsprach so etwa der Gesamtmasse eines Hufes inklusive Hufeisen.



Abb. 17: Schlagkörper

Fallturm

Um den Schlagkörper auf hohe Geschwindigkeiten beschleunigen zu können, wurde eigens ein Fallturm mit grosser Höhe gebaut (Abb. 18). Für die Versuche wurde der Schlagkörper entlang einer Schiene im Fallturm in die Höhe gezogen und dann fallen gelassen.



Abb. 18: Fallturm

Knochenhalterung

Die Knochen wurden in der Versuchsanordnung mit der medialen Seite und der markierten Schlaglokalisation nach oben beidseits in einer Halterung fixiert (Abb. 19 & 20). In vivo lastet beim stehenden Pferd zusätzlich das eigene Körpergewicht auf den Gliedmassen. Um diese Kraft zu imitieren, wurde mit Hilfe einer Druckfeder eine axial einwirkende Kraft von 2400 N auf den Knochen erzeugt.

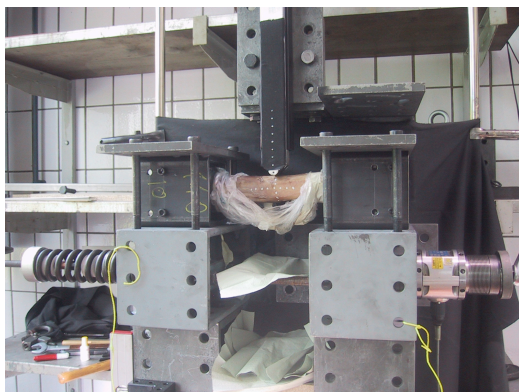


Abb. 19: Knochen kurz vor Bruch

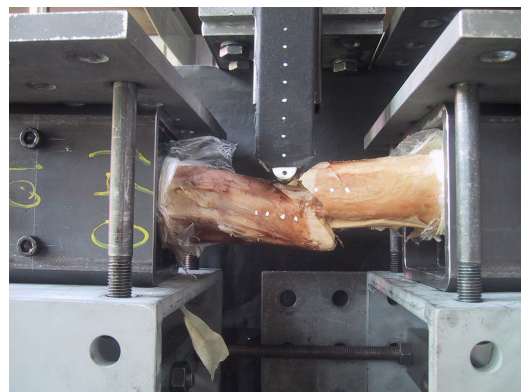


Abb. 20: Knochen gebrochen

3.3.2 Durchführung der Bruchversuche

Die Bruchversuche wurden an der eidgenössischen Material- und Prüfungsanstalt (EMPA) in Dübendorf zusammen mit örtlichen Mitarbeitern durchgeführt und gliederten sich in zwei Versuchsreihen.

In den an 12 Knochen durchgeführten Vorversuchen wurde jene Fallhöhe ermittelt, bei der klinisch relevante Frakturen erzeugt werden konnten. Aufgrund der Ergebnisse dieser Vorversuche wurde dann bei den Hauptversuchen vorwiegend mit einer Fallhöhe von 3 m getestet. Kam es bei dieser Fallhöhe nicht zu einem Bruch des Knochens, so wurde die Fallhöhe bei den korrespondierenden Knochen desselben Pferdes modifiziert, damit weitere auswertbare Frakturen erzeugt werden konnten. Insgesamt wurde bei Fallhöhen von 2,5 m - 8 m getestet.

Nach dem Einspannen der Knochen in der Knochenhalterung und Initiierung der axialen Belastung, wurde der Fallkörper entlang der Fallschiene in entsprechende Höhe gezogen und anschliessend auf den eingespannten Knochen fallen gelassen. Die Versuche wurden alle mit einer Hochgeschwindigkeitskamera gefilmt, welche 30'000 Bilder pro Sekunde registrierte. Bei den Knochen der rechten Körperhälfte wurde jeweils die caudale und bei den Knochen der linken Körperhälfte jeweils die craniale Knochenseite gefilmt, dies weil das proximale Ende der Knochen immer auf der gleichen Seite in der Halterung fixiert wurde.

Nach dem Bruchversuch wurden die Knochenteile ausgespannt, reponiert und fotografiert. Danach wurden die reponierten Knochen mit Klebeband fixiert und in die Vetsuisse Fakultät Zürich gebracht. Dort wurden die Aufnahmen mit dem Siremobil Iso-C 3D angefertigt, welche für die genaue Analyse der Frakturen benötigt wurden.

3.4 Dokumentation der Frakturen

Die Frakturbilder wurden bei jedem einzelnen Knochen mit Hilfe unterschiedlicher Verfahren dargestellt. Diese exakte Dokumentation der Fraktur- und Fissurlinien bildete die Grundlage der Analyse der entstandenen Schäden am Knochen.

3.4.1 Protokoll der Bruchversuche

Nach den Bruchversuchen wurden die am Knochen entstandenen Schäden sogleich von Auge beurteilt und schriftlich protokolliert.

3.4.2 Frakturfotos

Nach dem Impact wurden die Knochenschädigungen mit einer Digitalkamera (Sony Cyber-shot 5.0 Mega Pixels) aus mindestens zwei Ebenen fotografiert (Abb. 21).



Abb. 21: Digitalaufnahme eines gebrochenen Knochens

3.4.3 Bilder der Hochgeschwindigkeitskamera

Aufgrund der Videos der Hochgeschwindigkeitskamera (MotionXtra HG-100K, Redlake) konnten nachträglich Bruchentstehung und Bruchverlauf der einzelnen Bruchversuche während des Impactversuchs photographisch festgehalten und beschrieben werden (Abb. 22). Zudem wurde auf diesen Bildern das unterschiedliche Mass an Dislokation der Fraktarenden festgehalten.

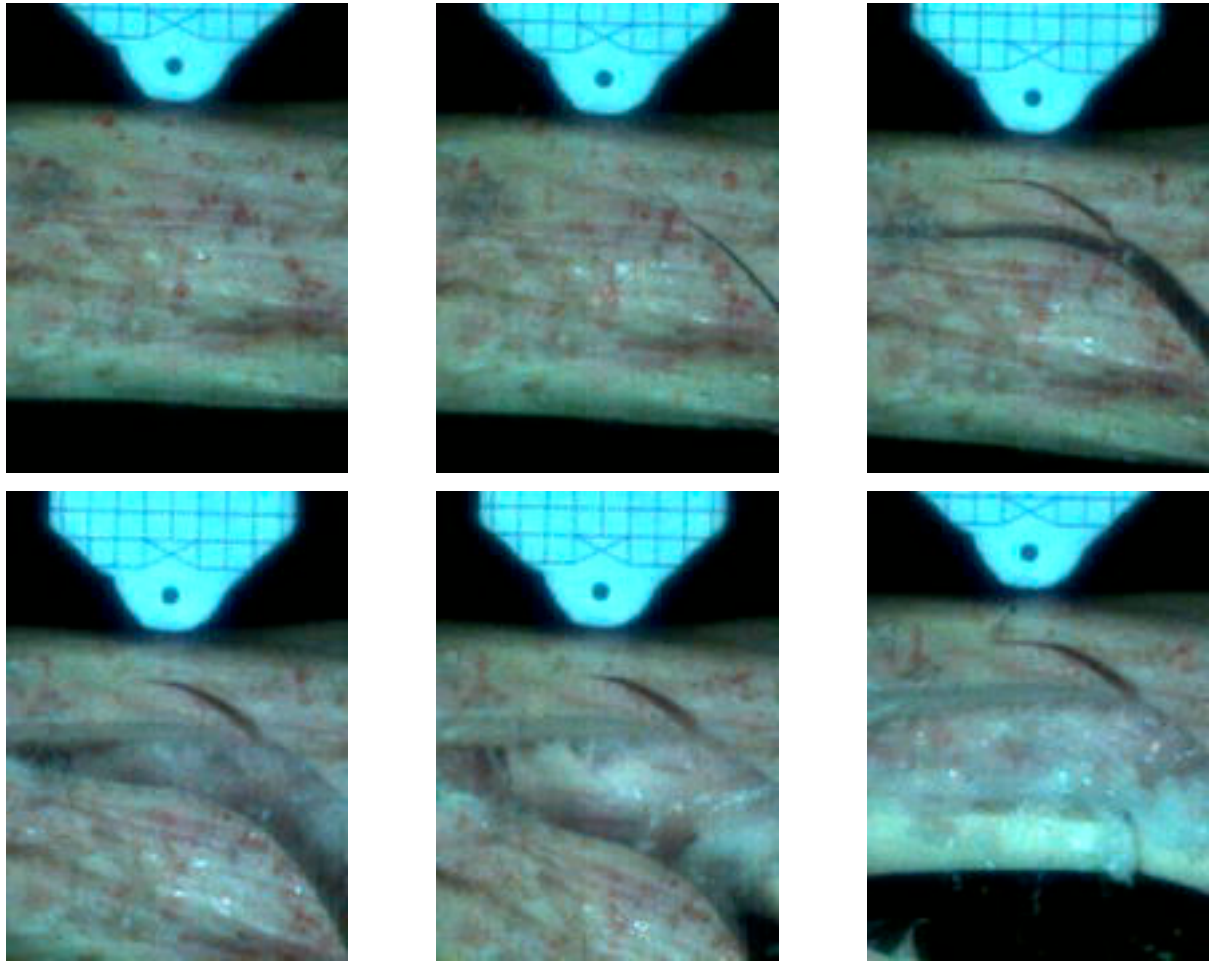


Abb. 22: Bildsequenzen der Hochgeschwindigkeitskamera

3.4.4 Aufnahmen mit dem Siremobil Iso-C 3D

Makroskopisch sind am Knochen nur massive oder oberflächliche Schädigungen erkennbar. Feine Fissuren oder Schädigungen im Knocheninnern können von Auge nicht erkannt werden. Um ein vollständiges Bild der gesamten Knochenschädigungen nach dem Bruchversuch zu bekommen, wurden die Knochenfragmente nach den Schlagversuchen wieder zusammengesetzt, mit Klebeband fixiert und mit dem Röntgen-C-Bogen Siremobil Iso-C 3D der Vetsuisse Fakultät Zürich durchleuchtet (Abb. 23). Dem Siremobil Iso-C 3D wurde in verschiedenen Studien eine hohe diagnostische Sicherheit attestiert [49-51]. Das Gerät nimmt in festen Winkelschritten 256 Röntgenbilder auf. Aus diesen Einzelaufnahmen entsteht dann ein hochaufgelöster 3D-Bilddatensatz, womit der Knochen am Computerbildschirm rekonstruiert werden kann. Dieser Datensatz bildete die Grundlage für die exakte Analyse der Frakturlinien und Fissuren.

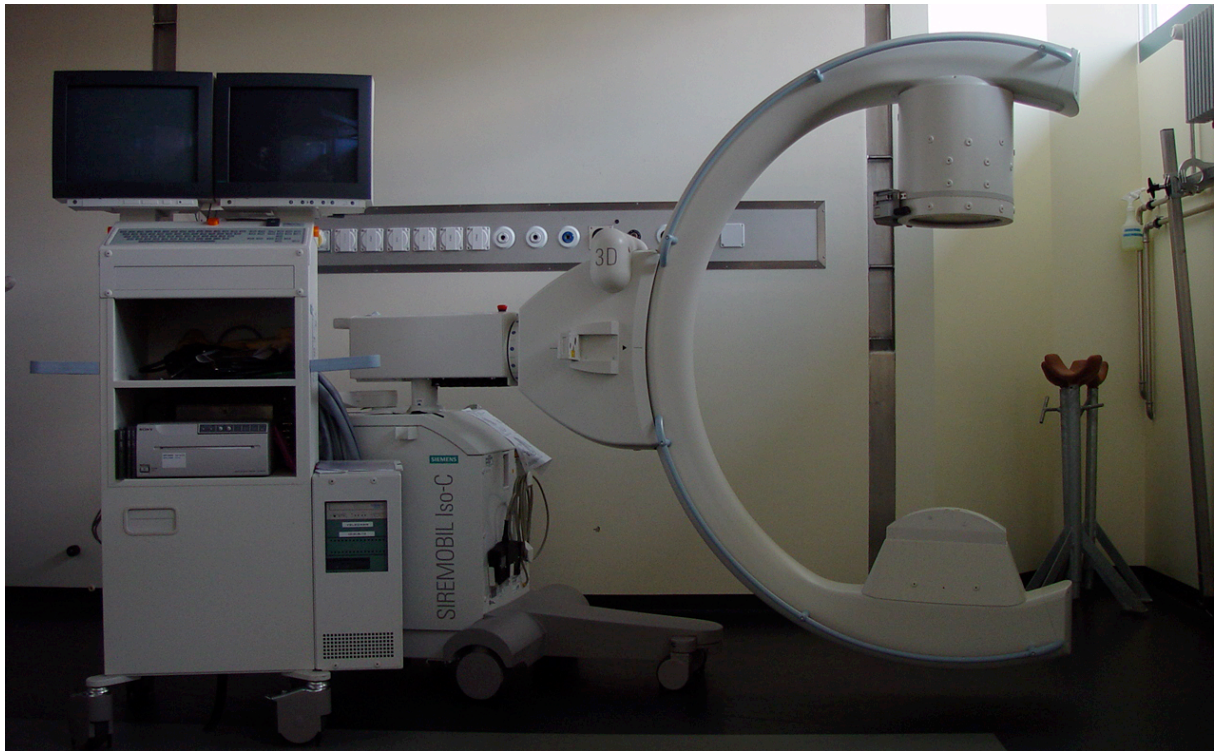


Abb. 23: Siremobil Iso-C 3D

3.5 Analyse und Klassifikation der Frakturen

3.5.1 Analyse

Das Bruchversuchsprotokoll, die Fotos und die Videos dienten der oberflächlichen Charakterisierung der Frakturkonfigurationen. Mit Hilfe von Osirix wurden hingegen die präzisen Beschreibungen der entstandenen Schäden am Knochen erfasst. Osirix ist eine Computer Software, welche von zwei Radiologen (Dr. Osman Ratib, Professor der Radiologie an der Universität Los Angeles und Dr. Antoine Rosset, Radiologe an der Universität Genf) für die spezielle Bildbetrachtung von DICOM Bildern entwickelt wurde. Diese DICOM Bilder werden von verschiedenen medizinischen Geräten produziert. Osirix ermöglichte die unterschiedlichen zweidimensionalen (Abb. 24 & 25) und dreidimensionalen (Abb. 26 & 27) Darstellungen der Knochenaufnahmen des Siremobil Iso-C 3D am Computerbildschirm. Dadurch konnten die komplexen Frakturlinien aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet, verfolgt und exakt beschrieben werden. Für die Betrachtung der Frakturen am Computerbildschirm wurde vor allem die Darstellung der Knochenquerschnitte und die dreidimensionale Rekonstruktion der Knochenoberfläche verwendet.

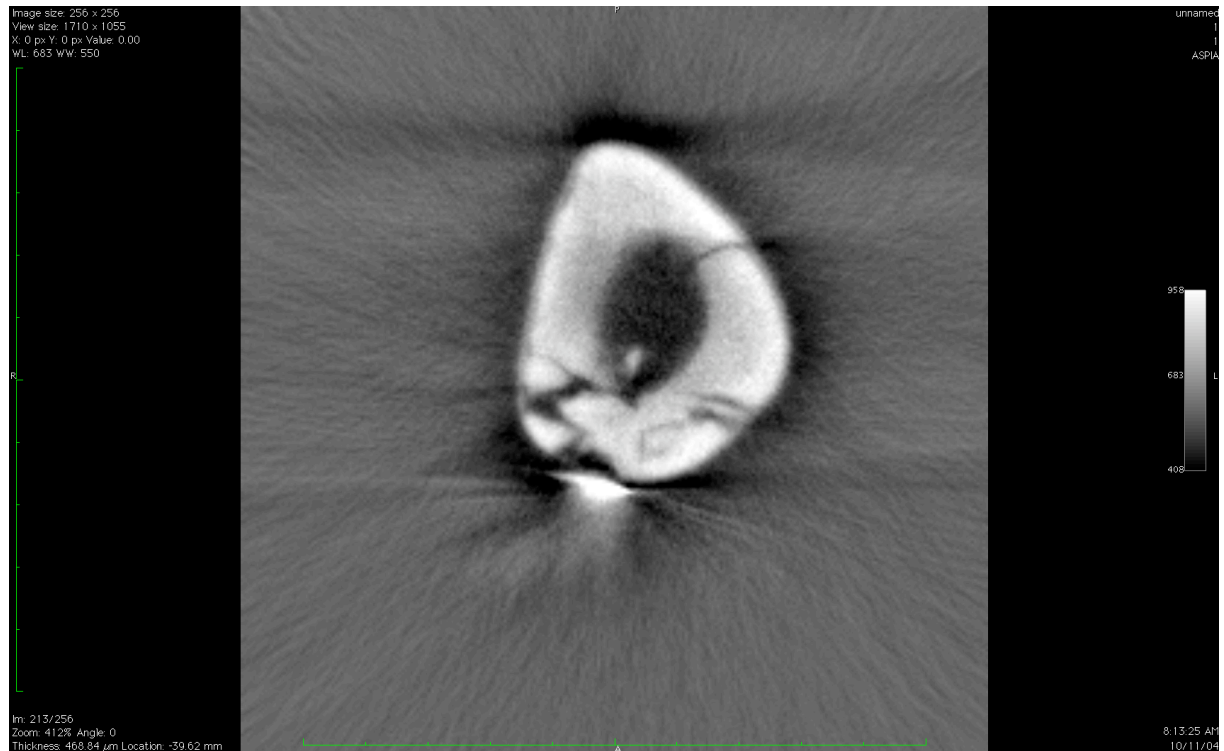


Abb. 24: Osirix: Knochenquerschnitt direkt beim Impact

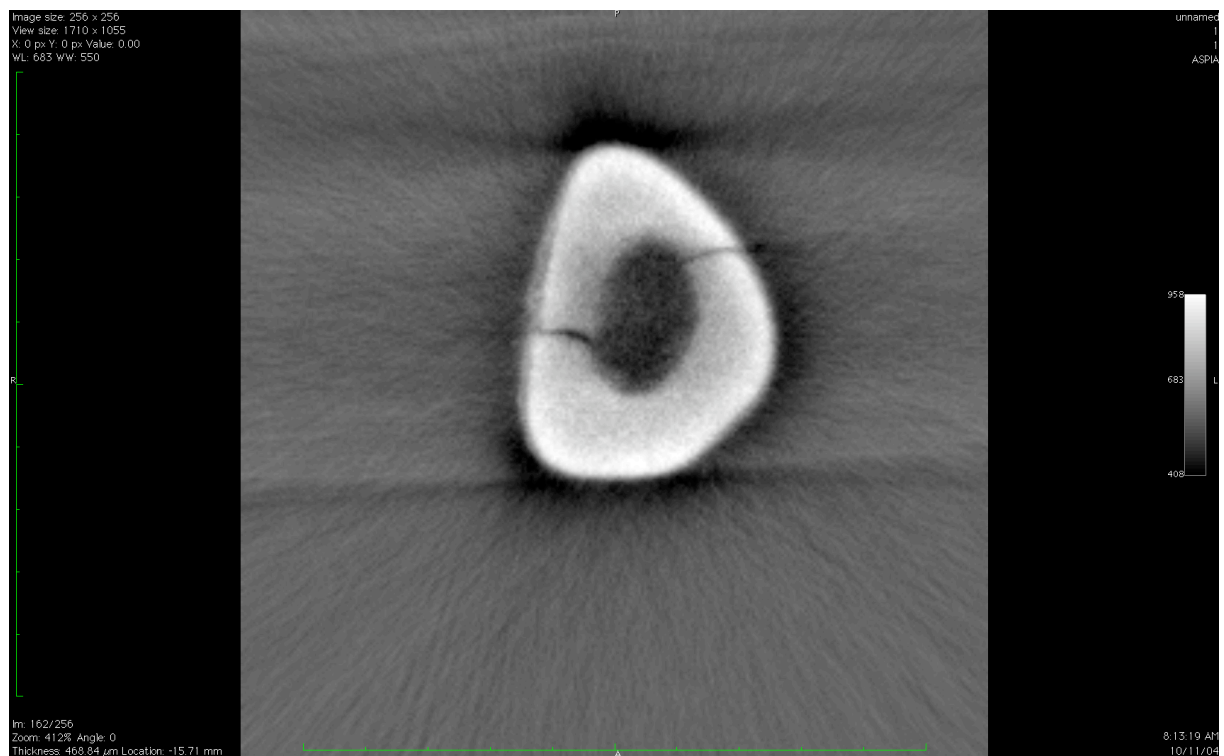


Abb. 25: Osirix: Gleicher Knochenquerschnitt etwas distal des Impacts

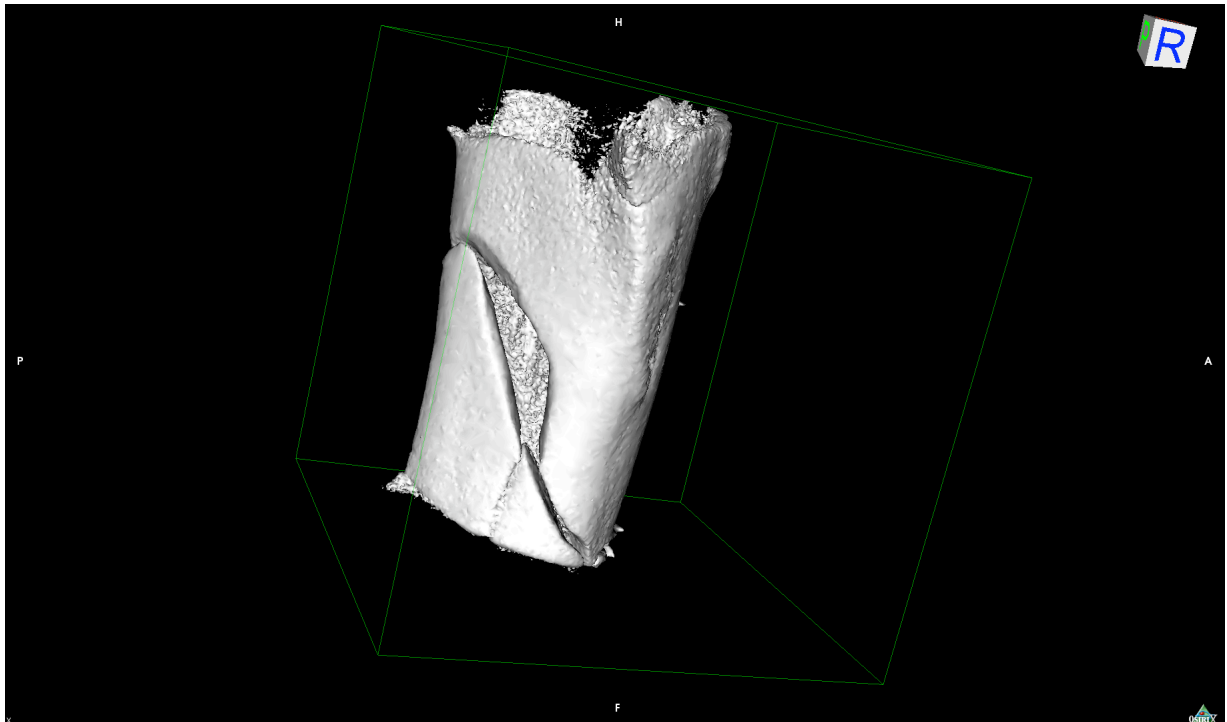


Abb. 26: Osirix: Oberfläche des proximalen Knochenabschnittes

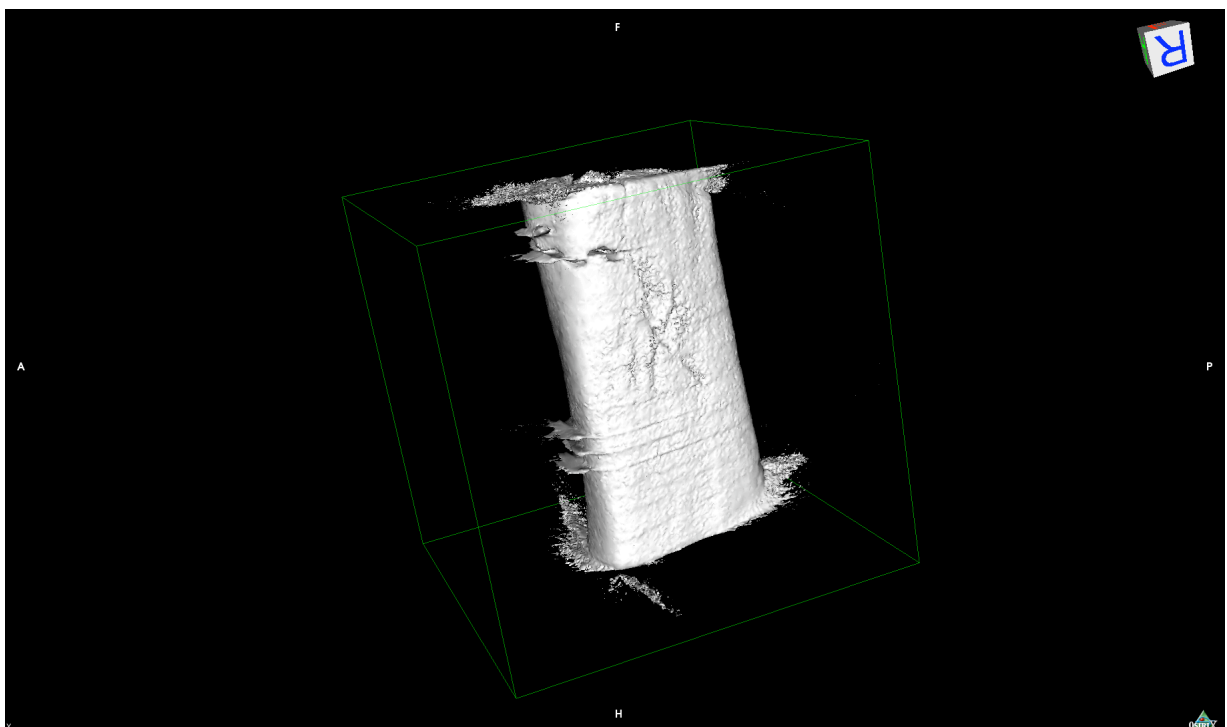


Abb. 27: Osirix: Oberfläche des distalen Knochenabschnittes

Osirix ermöglichte die Verfolgung feinsten Fraktur- und Fissurlinien am Knochen. Die Fotos und die Videos waren jedoch eine essentielle Hilfe, um sich die Frakturen dreidimensional vorstellen zu können.

3.5.2 Klassifikation

Eine Klassifikation erleichtert den internationalen Vergleich und Austausch von neuen Erkenntnissen. Da noch keine spezifische Klassifikation der Frakturen beim Pferd existiert, wurde für die diaphysären Frakturen dieser Studie eine Klassifikation erarbeitet. Die entwickelte Klassifikation basiert auf der humanen AO-Klassifikation der Diaphysenfrakturen, wurde aber den speziellen Eigenschaften der Spezies Pferd angepasst.

3.5.3 Statistische Methoden

Die beschreibende Statistik für die entstandenen Frakturbilder wurde mit dem Programm SPSS durchgeführt.

Für die analytische Statistik wurden die einzelnen Frakturbilder aufgrund der Datenmenge in Frakturgruppen zusammengefasst. Mit dem Chi-Quadrat-Test wurde die Abhängigkeit der entstandenen Frakturbilder vom Knochentyp (Radius/Tibia), von der Seitenangabe (linke/rechte Gliedmasse) und vom Geschlecht (Wallach/Stute) untersucht. Die statistischen Tests wurden mit dem Programm SPSS durchgeführt, die Balkendiagramme wurden mit Excel erstellt.

4. Ergebnisse

4.1 Frakturklassifikation (Abb. 28)

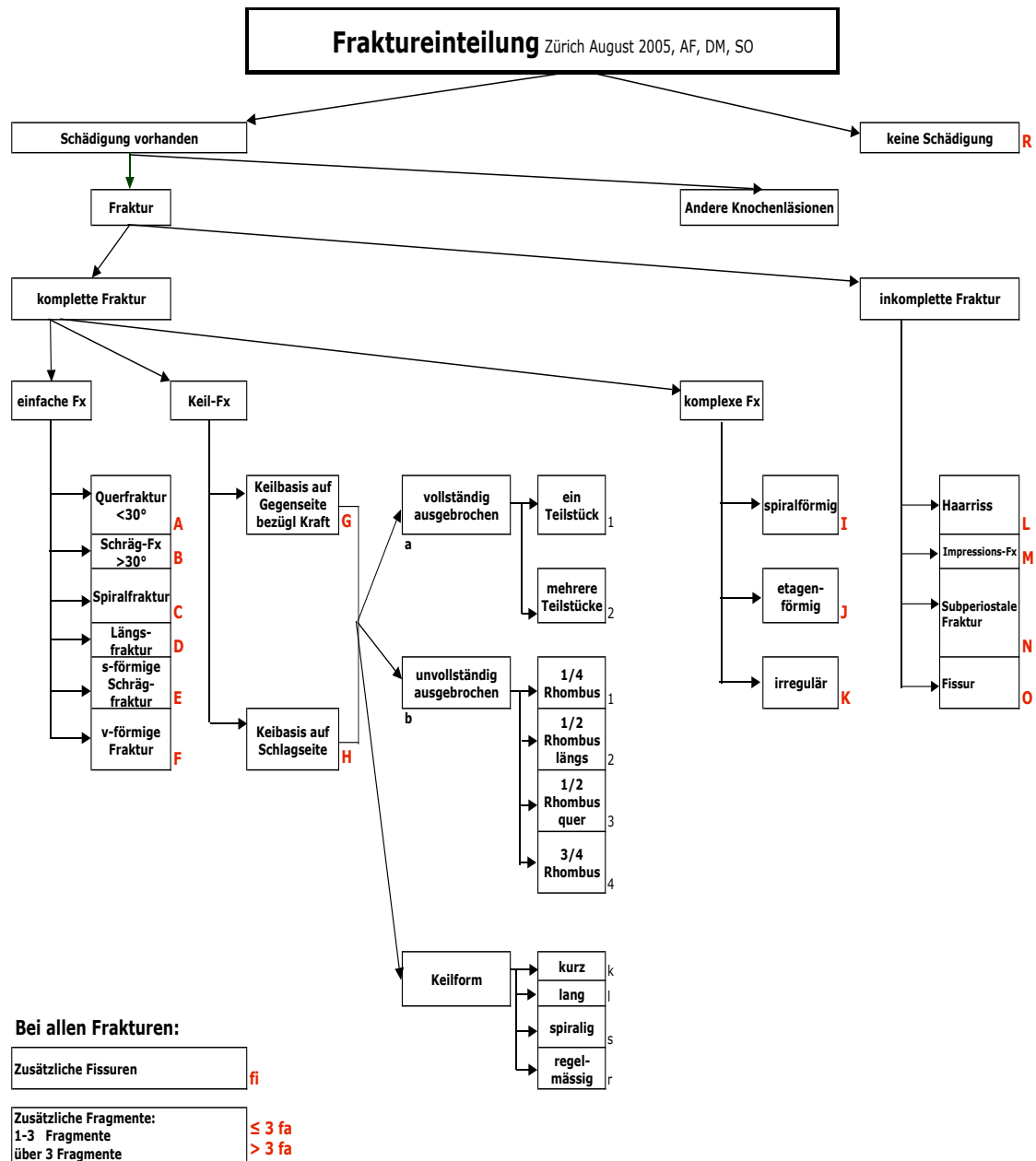


Abb. 28: Fraktureinteilung

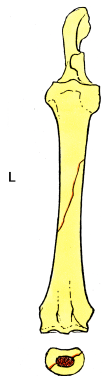
Diese Klassifikation wurde entwickelt, da für Pferde keine einheitliche Klassifikation existiert. Sie orientiert sich an der menschlichen AO-Klassifikation der langen Röhrenknochen und wurde der Spezies Pferd angepasst. Es wurden erstmals die Frakturen im Bereich der Diaphyse der langen Röhrenknochen definiert.

4.1.1 Beschreibung der Frakturklassifikation

Inkomplette Fraktur:

Als inkomplette Fraktur werden Knochenrisse und Knochenspalten definiert (Abb. 29 - 32). Dabei kommt es zu keiner vollständigen Zusammenhangstrennung des geschädigten Knochens. Es entstehen keine Knochenbruchstücke und der Knochen bleibt trotz der Schädigung als ganze Einheit bestehen.

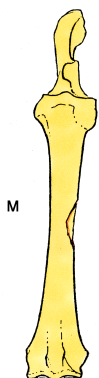
Haarriss (L):



Beim Haarriss bildet sich ein den ganzen Knochenquerschnitt erfassender Spalt.

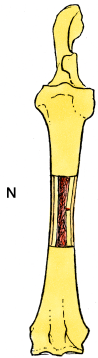
Abb. 29: Haarriss

Impressionsfraktur (M):



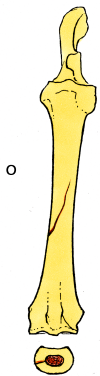
Bei der Impressionsfraktur wird die Knochenoberfläche in den Markraum gedrückt.

Abb. 30: Impressionsfraktur

Subperiostale Fraktur (N):

Die subperiostale Fraktur wird auch Grünholzfraktur genannt. Dabei wird der Knochen zwar in zwei oder mehr Einzelstücke frakturiert, aber das Periost bleibt intakt und hält die Knochenstücke zusammen.

Abb. 31: Subperiostale Fraktur

Fissur (O):

Die Fissur bezeichnet einen Spalt, der nicht durch den ganzen Knochenquerschnitt läuft.

Abb. 32: Fissur

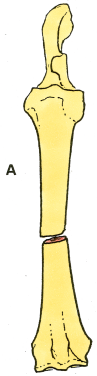
Komplette Fraktur:

Als komplette Frakturen werden Knochenschädigungen definiert, bei denen der betroffene Knochen in mindestens zwei vollständig getrennte Stücke bricht (Abb. 33 - 38). Anhand der Hauptfragmente werden die kompletten Frakturen in einfache Frakturen, Keilfrakturen und komplexe Frakturen gruppiert.

Einfache Frakturen:

Bei der einfachen Fraktur trennt eine einzige Frakturebene zwei Bruchstücke.

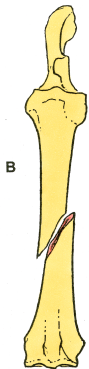
Querfraktur (A):



Die mehr oder weniger gerade verlaufende Frakturlinie weicht weniger als 30° von der radialen Querschnittsebene ab.

Abb. 33: Querfraktur

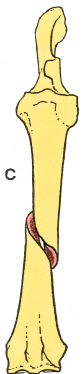
Schrägfraktur (B):



Die mehr oder weniger gerade verlaufende Frakturlinie weicht mehr als 30° von der radialen Querschnittsebene ab.

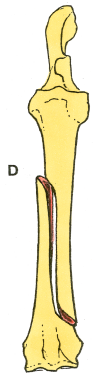
Abb. 34: Schrägfraktur

Spiralfraktur (C):



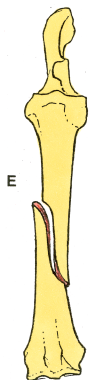
Die Frakturlinie verläuft spiralig.

Abb. 35: Spiralfraktur

Längsfraktur (D):

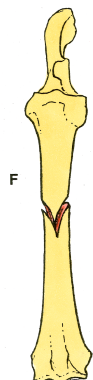
Die Frakturlinie verläuft mehr oder weniger parallel zur Längsachse. Der Knochen wird längs gespalten.

Abb. 36: Längsfraktur

S-förmige Schrägfraktur (E):

Die s-förmig verlaufende Frakturlinie weicht mehr als 30° von der radialen Querschnittsebene ab.

Abb. 37: S-förmige Schrägfraktur

V-förmige Schrägfraktur (F):

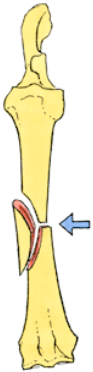
Die radial verlaufende Frakturlinie ist v-förmig.

Abb. 38: V-förmige Schrägfraktur

Keilfrakturen:

Bei der Keilfraktur führen mehrere Frakturebenen zur Aussprengung eines Keils (Abb. 39 & 40). Dabei entstehen drei oder mehr Bruchstücke, welche nach Reposition des Knochens in Kontakt zueinander stehen.

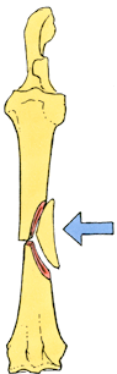
Keilbasis auf der Gegenseite bezüglich Kraft (G):



Die Basis des ausgesprengten Keils liegt auf der Gegenseite der einwirkenden Kraft. Die Keilspitze zeigt in Richtung Kontaktpunkt der einwirkenden Kraft und die Keilbasis befindet sich auf der Zugseite des gebrochenen Knochens.

Abb. 39: Ausgesprengter Keil auf der Zugseite

Keilbasis auf Schlagseite (H):



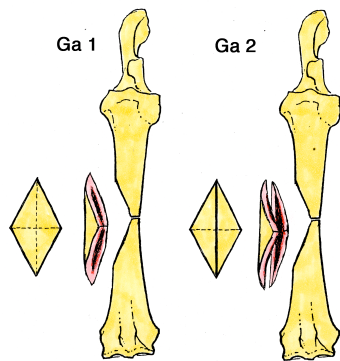
Die Basis des ausgesprengten Keiles liegt auf derselben Seite wie die einwirkende Kraft. Die Keilspitze zeigt zur gegenüberliegenden Seite. Die Keilbasis befindet sich auf der Druckseite des gebrochenen Knochens.

Abb. 40: Ausgesprengter Keil auf der Druckseite

Obwohl die bei den Bruchversuchen ausgesprengten Keile morphologisch stark variierten, versuchten wir die verschiedenen Formen zu klassifizieren (Abb. 41 & 42):

Umriss des Keils:

Vollständig ausgebrochen (a):



- Ein Teilstück (1):
Der Keil ist als Ganzes in einem Stück ausgebrochen.
- Mehrere Teilstücke (2):
Der Keil ist als Ganzes, aber in mehreren Stücken ausgebrochen.

Abb. 41: Vollständig ausgebrochene Keile

Unvollständig ausgebrochen (b):

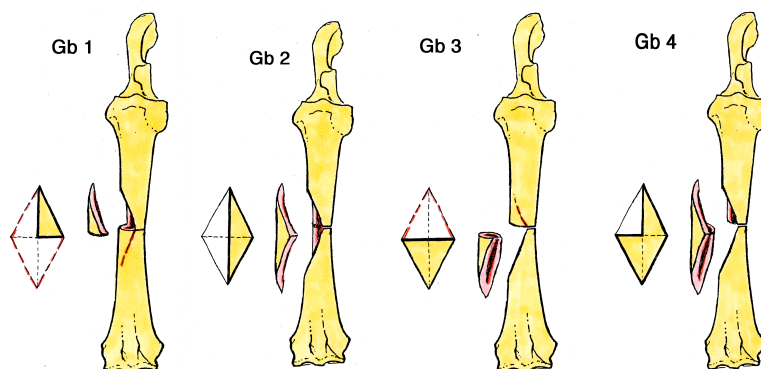


Abb. 42: Unvollständig ausgebrochene Keile

- 1/4 Rhombus (1):
Es ist nur ein Viertel der Rhombusform eines Keils ausgebrochen.
- 1/2 Rhombus längs (2):
Es ist nur die eine Längshälfte der Rhombusform eines Keils ausgebrochen.
- 1/2 Rhombus quer (3):
Es ist nur die Querhälfte der Rhombusform eines Keils ausgebrochen.
- 3/4 Rhombus (4):
Es sind nur drei Viertel der Rhombusform eines Keils ausgebrochen.

Keilform:

- kurz (k)
- lang (l)
- spiralig (s)
- regelmässig (r)

Komplexe Fraktur:

Bei der komplexen Fraktur führen diverse Frakturebenen zu einem oder mehreren intermediären Bruchstücken (Abb. 43 – 45). Das proximale und das distale Hauptbruchstück haben nach Reposition keinen Kontakt.

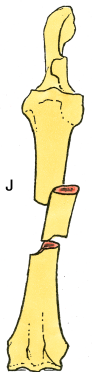
Spiralförmig (I):



Die Bruchlinien verlaufen teilweise spiralförmig.

Abb. 43: Spiralförmige komplexe Fraktur

Etagenförmig (J):



Die intermediären Bruchstücke entstehen durch multiple Quer- und/oder Schrägfrakturen.

Abb. 44: Etagenförmige komplexe Fraktur

Irregulär (K):



Die intermediären Bruchstücke lassen keinen regulären Bruchverlauf erkennen.

Abb. 45: Irreguläre komplexe Fraktur

4.2 Entstandene Frakturbilder

Aus den 71 Bruchversuchen resultierten 42 komplette Frakturen. Darunter waren 22 Keilfrakturen, 17 Schrägfrakturen, 2 Querfrakturen und eine Längsfraktur. 26 Knochen erlitten eine inkomplette Fraktur in Form einer Fissur und bei 3 Knochen sah man keine Schädigung (Tab. 2).

Tabelle 2: Übersicht der entstandenen Frakturbilder

BESCHREIBUNG	KNOCHEN-NUMMERN	ANZ. KN
Kein Schaden	9,32,75	3
INKOMPLETTE FRAKTUREN:		
Fissuren	13,14,23,25,29,30,34,35,36,37,38,42,47,49,50, 53,54,58,62,64,66,68,69,70,71,74	26
KOMPLETTE FRAKTUREN:		
Einfache Frakturen:		
Querfraktur	2,46	2
Längsfraktur	11	1
Schrägfraktur	7,10,17,18,20,21,22,28,33,43,44,45,48,51,55,60,67	17
		20
Keilfrakturen:	1,3,4,5,6,8,15,16,19,24,26,27,31,39,40,41,52,56,59, 65,72,76	22
Totale Anzahl Knochen		71

4.2.1 Inkomplette Frakturen

Bei der Auswertung der inkompletten Frakturen fielen zwei Sachverhalte auf:

Erstens entstanden ausschliesslich Fissuren. Haarrisse, Impressionsfrakturen oder subperiostale Frakturen wurden nicht beobachtet.

Zweitens war das Erscheinungsbild der Fissuren bei allen 26 Knochen sehr ähnlich.

Dabei konnte direkt nach dem Impact auf der medialen Seite ein

Flüssigkeitsausschwitzung oder eine Fissur in Längsrichtung des Knochens beobachtet werden. Bei der Auswertung der Bilder des Siremobil Iso-C 3D mit der Software Osirix wurden dann eine mediale und eine laterale Längsfissur festgestellt.

Die beiden Fissuren waren in der Regel < 0,1mm breit und verliefen von proximal nach distal mehr oder weniger geradlinig in Längsrichtung des Knochens. Dabei führte die mediale Fissur direkt durch den Auftreffpunkt des Schlagkörpers (Abb. 46), die laterale verlief hingegen parallel zur medialen Fissur auf der Gegenseite des Knochenquerschnittes. Die Länge der Fissuren variierte zwischen ca. 4 cm bis fast 20 cm.



Abb. 46: Radius links, Fissur auf medialer Seite

4.2.2 Komplette Frakturen

Bei den kompletten Frakturen konnten beim Auftreffpunkt des Schlagkörpers häufig mehrere kleine Fragmente (Länge < 1,5 cm) beobachtet werden. Diese Fragmente wurden für die Fraktуреinteilung nicht berücksichtigt. Sie wurden aber bei der Frakturklassifikation mit dem Zusatz „fa“ (zusätzliche Fragmente) vermerkt.

Einfache Frakturen

Es wurden eine Längsfraktur, zwei Quer- und 17 Schrägfrakturen beobachtet. Die Schrägfraktur war damit die häufigste Bruchform bei den einfachen Frakturen.

Schrägfrakturen

Die Bruchlinie bei den Schrägfrakturen begann meist medial direkt beim Impact und verlief geradlinig lateral in Richtung zur gegenüberliegenden Seite (Abb. 47). Bei zwölf Knochen verlief die Schrägfraktur nach proximal (KN 7, 18, 21, 22, 33, 43, 44, 45, 48, 51, 60, 67). Drei dieser Knochen hatten zusätzlich keilförmige Fissuren, die nach distal führten (KN 33, 48, 51).

Bei vier Knochen verlief die Schrägfraktur nach distal (KN 10, 17, 20, 55), wobei bei KN 20 zusätzlich keilförmige Fissuren nach proximal führten.



Abb. 47: Tibia links, Schrägfraktur von medial nach lateral

Querfrakturen

Zwei Knochen (KN 2 und KN 46) wiesen eine Querfraktur auf. Die Frakturlinie war bei beiden Knochen gezackt und lag auf Höhe des Schlagpunktes (Abb. 48). Beide Knochen wiesen zusätzlich Fragmente und Fissuren auf. Bei einem Knochen (KN 46) waren in Richtung distal zusätzlich keilförmige Fissuren erkennbar.



Abb. 48: Radius rechts, Querfraktur mit gezackter Bruchlinie

Längsfrakturen

Lediglich ein Knochen (KN 11) brach axial in Form einer Längsfraktur (Abb. 49). Die Bruchlinie verlief vom Schlagpunkt aus in proximaler Richtung nach latero-kaudal und in distaler Richtung nach latero-kranial.

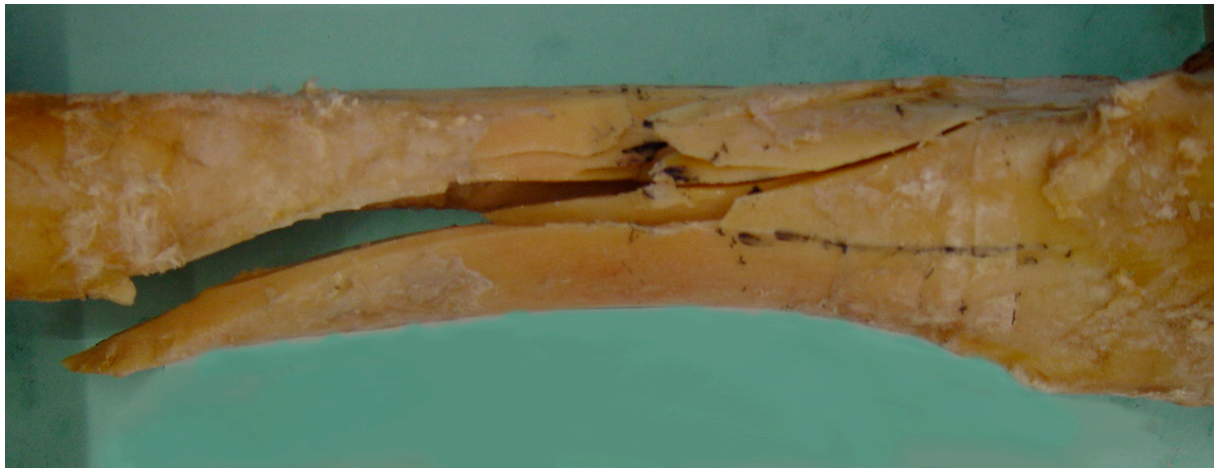


Abb. 49: Tibia links, Längsfraktur

Keilfrakturen

Bei 22 Bruchversuchen entstanden Keilfrakturen. Auffallend war, dass alle Keile auf der Gegenseite der einwirkenden Kraft ausbrachen; also auf der Zugseite des gebrochenen Knochens (Abb. 50 & 51). Die Keilbasis lag in allen Fällen auf der gegenüberliegenden Seite der Krafteinwirkung, so dass die Keilspitze immer zum Impact hin zeigte.

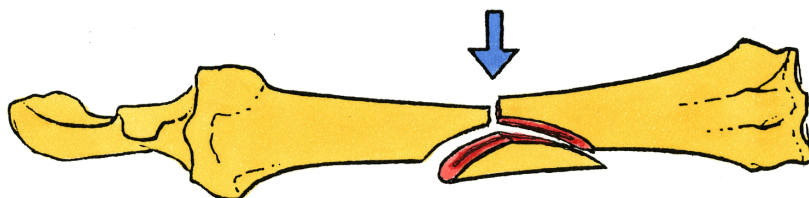


Abb. 48: Keil mit Keilbasis auf der Gegenseite der einwirkenden Kraft

Die Morphologie der Keile hingegen variierte stark. Bei fünf Knochen (KN 1, 3, 4, 6, 76) brach der Keil als Ganzes aus. In 17 Fällen (KN 5, 8, 15, 16, 19, 24, 26, 27, 31, 39, 40, 41, 52, 56, 59, 65, 72) brach der Keil nur unvollständig aus. Bei drei Knochen (KN 5, 65, 72) brach ein Viertel des Rhombus, bei zehn Knochen (KN 8, 15, 16, 24, 31, 39, 40, 41, 56, 59) eine Längshälfte des Rhombus, bei 3 Knochen (KN 19, 26, 52) eine Querhälfte des Rhombus und bei einem Knochen (KN 27) drei Viertel des Rhombus aus. Bei drei Knochen (KN 8, 27, 40) lag der Keil direkt beim Auftreffpunkt des Schlagkörpers. Bei einem Knochen (KN 59) war der Keil über eine schräge Fissur mit dem Auftreffpunkt verbunden. Am häufigsten war der Keil über eine Querfraktur mit der Schlaglokalisation verbunden (Abb. 51 – 53) (KN 1, 3, 4, 5, 6, 15, 16, 19, 24, 26, 31, 39, 41, 52, 56, 65, 72, 76).

Bei allen Knochen waren zusätzliche Fissuren und Fragmente vorhanden. Die Fissuren traten meist auf der lateralen und auf der medialen Seite des Knochens auf, oder aber verliefen keilförmig nach proximal oder distal.



Abb. 51: Schmaler Keil, mit Querfraktur zum Auftreffpunkt verbunden



Abb. 52: Mittlerer Keil, mit Querfraktur zum Auftreffpunkt verbunden



Abb. 53: Grosser Keil, längs fragmentiert und unvollständig ausgebrochen

4.3 Zeitlicher Verlauf der Fraktur

4.3.1 Querfraktur

Die Querfrakturen begannen beide auf der der einwirkenden Kraft gegenüber liegenden Seite und zogen dann in direktem Verlauf zur Schlaglokalisation hin (Abb. 54).

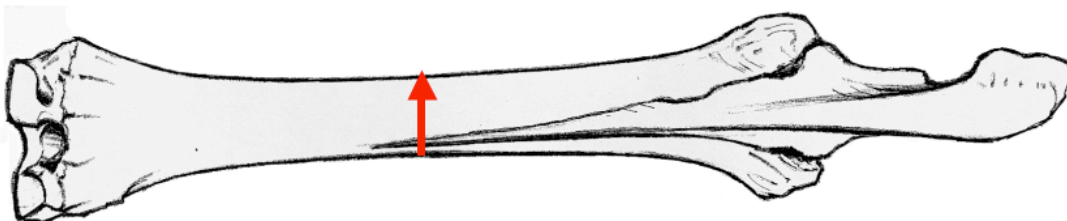


Abb. 54: Zeitliche Abfolge einer Querfraktur

4.3.2 Schrägfraktur

Auch bei den Schrägfrakturen entstanden die ersten Knochenschäden auf der Gegenseite der einwirkenden Kraft. Danach bewegte sich die Bruchlinie ungefähr im Winkel von 45 Grad zur einwirkenden Kraft hin.

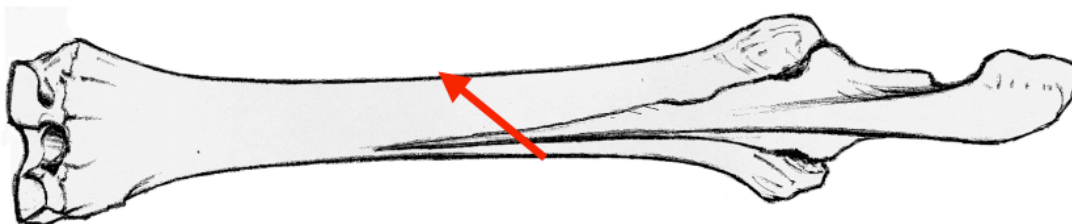


Abb. 55: Zeitliche Abfolge einer Schrägfraktur

4.3.3 Längsfraktur

Bei der Längsfraktur war die Frakturlinie als erstes in Längsrichtung auf der gegenüberliegenden Seite der einwirkenden Kraft sichtbar, danach folgte die parallele Frakturlinie in Längsrichtung auf Seite der einwirkenden Kraft.

4.3.4 Keilfraktur

Auch bei den Keilfrakturen war die Frakturlinie als erstes auf der Gegenseite der einwirkenden Kraft in Längsrichtung zu sehen. Dies entspricht der Basis des Keildreieckes. In der Folge verliefen zwei Bruchlinien analog der Schrägfraktur im ungefähren Winkel von 45° zur einwirkenden Kraft hin (Abb. 56).

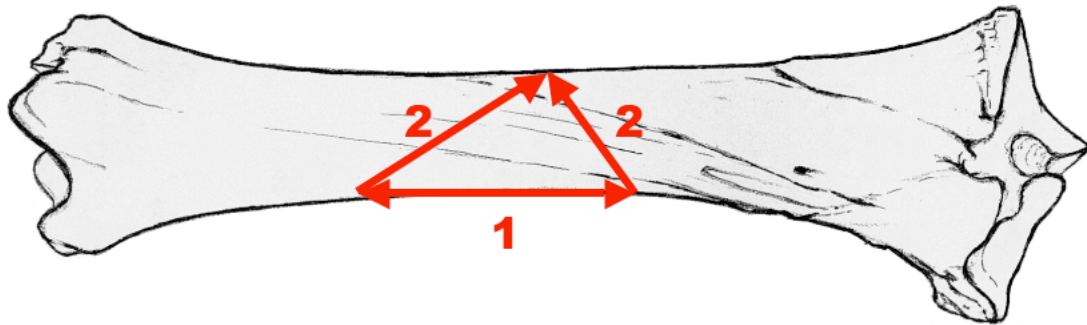


Abb. 56: Zeitliche Abfolge einer Keilfraktur

4.4 Statistische Auswertungen

4.4.1 Deskriptive Auswertungen der entstandenen Frakturen

Überblick der entstandenen Frakturbilder

4,2 % der experimentell gebrochenen Knochen zeigten keine Schädigung. Damit konnte bei 95,8% der Knochen eine Auswertung der Fraktur- und Fissurlinien durchgeführt werden. Mit 69,1 % entstanden mehr komplette Frakturen als inkomplette Frakturen (36,6 %). Die Keilfraktur war dabei mit 31 % die am häufigsten vorkommenden komplette Frakturkonfiguration, gefolgt von der Schrägfraktur mit 23,9 % (Tab. 3; Diagramm 1).

Tabelle 3: Häufigkeit der entstandenen Frakturbilder

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	kein Schaden	3	4.2	4.2	4.2
	Fissur	26	36.6	36.6	40.8
	Querfraktur	2	2.8	2.8	43.7
	Schrägfraktur	17	23.9	23.9	67.6
	Längsfraktur	1	1.4	1.4	69.0
	Keil	22	31.0	31.0	100.0
	Total	71	100.0	100.0	

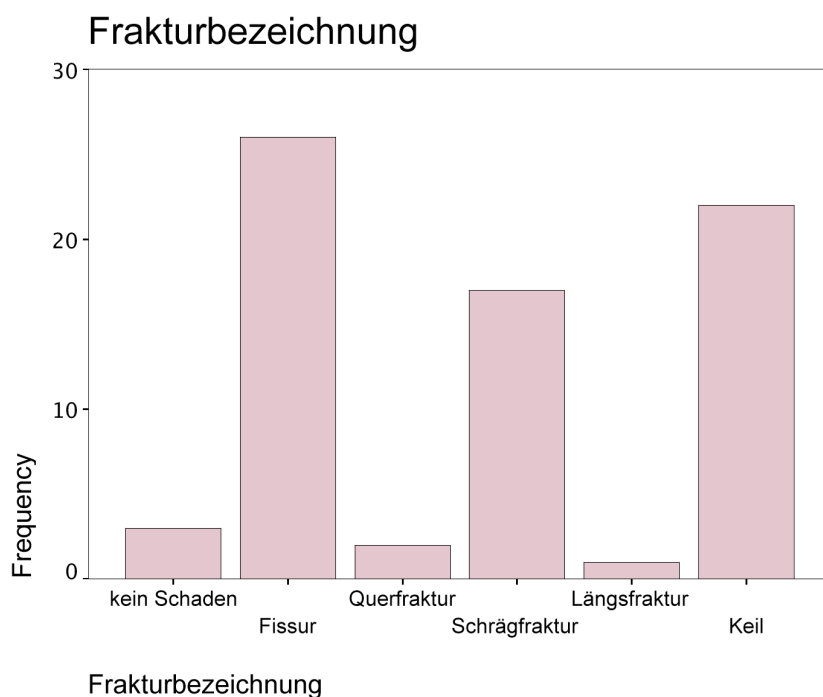


Diagramm 1: Häufigkeit der entstandenen Frakturbilder

Frakturbilder bei Radius und Tibia

Hinsichtlich der absoluten Häufigkeit der entstandenen Frakturbilder bei Radius und Tibia sind deutliche Unterschiede zu erkennen: Der Radius brach vermehrt in Form einer inkompletten Fraktur, bei der Tibia hingegen wurden überwiegend komplette Frakturen beobachtet. Auch wurden bei der Tibia mehr Keilfrakturen als Schrägfrakturen beobachtet, beim Radius hingegen mehr Schräg- als Keilfrakturen (Tab. 4; Diagramm 2).

Tabelle 4: Häufigkeit der Frakturbilder bei Radius & Tibia

		Knochenbezeichnung		Total
		Radius	Tibia	
Frakturbezeichnung	kein Schaden	1	2	3
	Fissur	19	7	26
	Querfraktur	2		2
	Schrägfraktur	7	10	17
	Längsfraktur		1	1
	Keil	6	16	22
Total		35	36	71

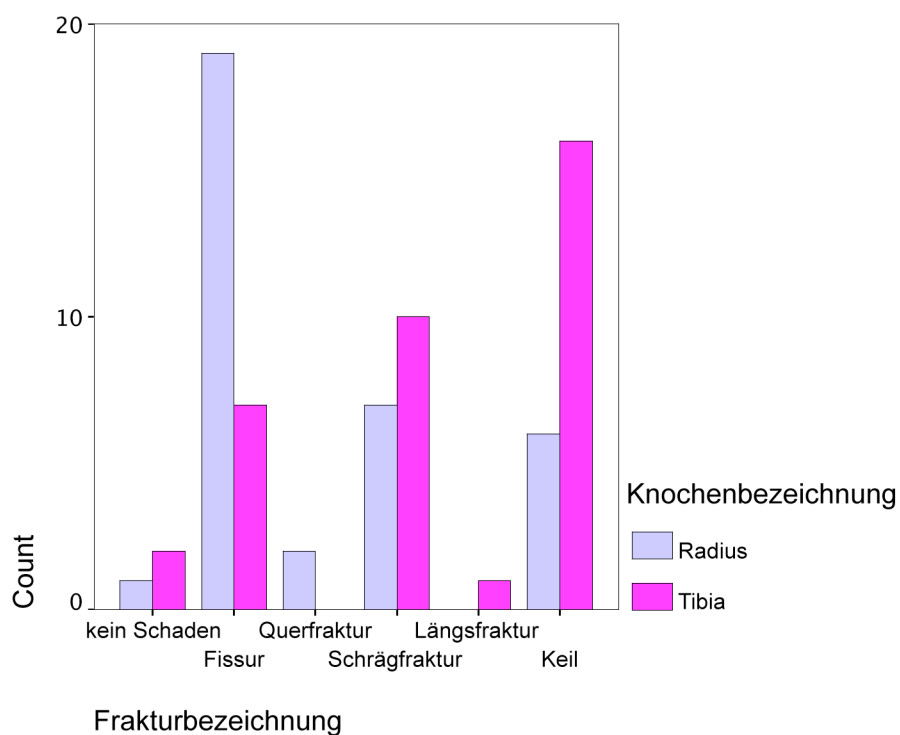


Diagramm 2: Frakturbilder bei Radius & Tibia

Frakturbilder der linken und rechten Gliedmassen

Betrachtet man die absoluten Häufigkeiten der entstandenen Frakturbilder der linken und der rechten Gliedmasse fallen keine grossen Unterschiede auf (Tab. 5; Diagramm 3).

Tabelle 5: Häufigkeit der Frakturbilder der rechten & linken Gliedmasse

		Seitenangabe		Total
		Rechts	Links	
Frakturbezeichnung	kein Schaden	1	2	3
	Fissur	15	11	26
	Querfraktur	2		2
	Schrägfraktur	8	9	17
	Längsfraktur		1	1
	Keil	11	11	22
Total		37	34	71

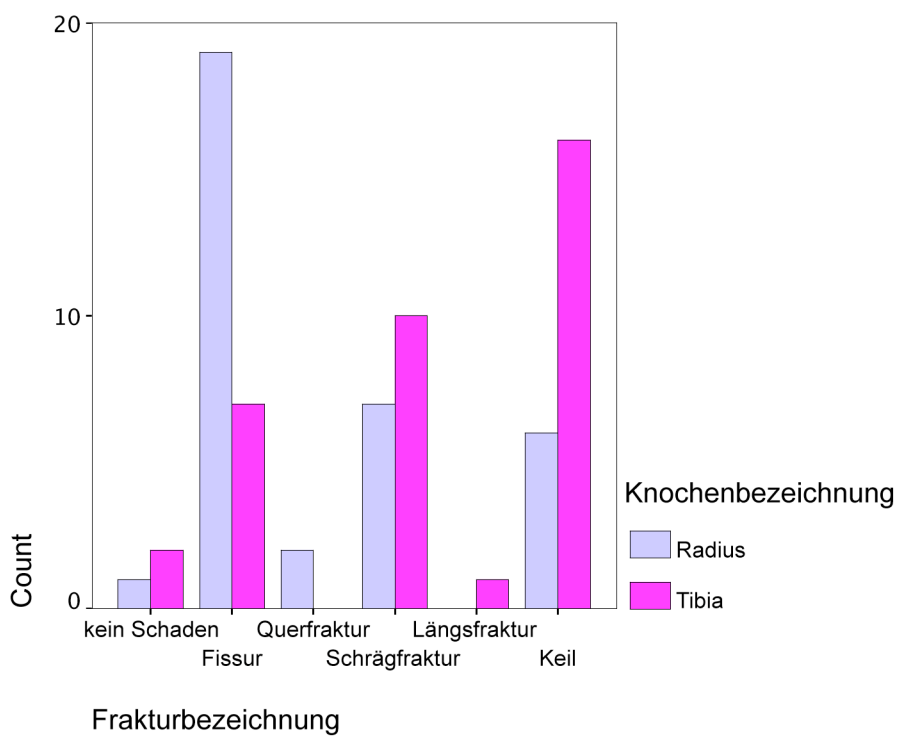


Diagramm 3: Frakturbilder der linken & rechten Gliedmasse

Frakturbilder bei Wallach und Stute

Beim Wallach wurde die Keilfraktur am häufigsten beobachtet, gefolgt von der Schrägfraktur und an dritter Stelle die Fissur. Bei der Stute hingegen stellte die Fissur die häufigste Frakturform dar, gefolgt von der Keilfraktur und am dritthäufigsten die Schrägfraktur (Tab. 6; Diagramm 4).

Tabelle 6: Häufigkeit der Frakturbilder bei Wallach & Stute

		Geschlecht		Total
		Wallach	Stute	
Frakturbezeichnung	kein Schaden	2	1	3
	Fissur	11	15	26
	Querfraktur	2		2
	Schrägfraktur	13	4	17
	Längsfraktur	1		1
	Keil	16	6	22
Total		45	26	71

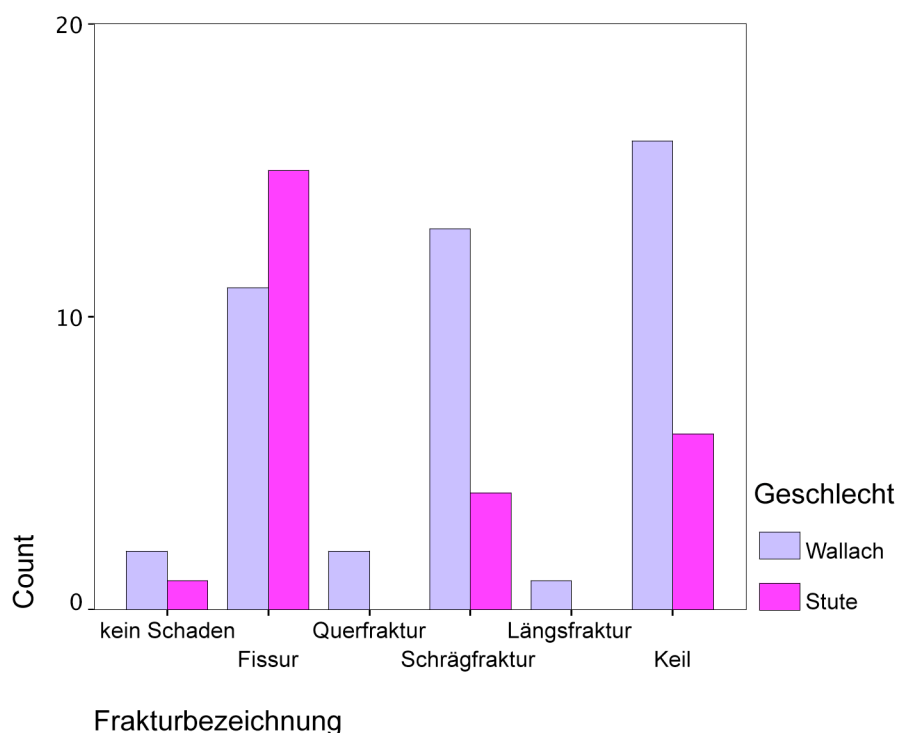


Diagramm 4: Frakturbilder bei Wallach & Stute

Entstandene Frakturbilder in Abhängigkeit des Alters

Bei allen drei Altersgruppen wurden sowohl inkomplette als auch komplette Frakturen beobachtet. Auf Grund der unterschiedlichen Anzahl Knochen pro Altersgruppe kann keine Aussage bezüglich der Häufigkeiten von Frakturbildern gemacht werden (Tab. 7; Diagramm 5).

Tabelle 7: Häufigkeit der Frakturbilder in Abhängigkeit des Alters

		Altersgruppe			Total
		1-8 Jahre	9-16 Jahre	17-24 Jahre	
Frakturbezeichnung	kein Schaden	1	2		3
	Fissur	4	17	5	26
	Querfraktur		1	1	2
	Schrägfraktur	1	8	8	17
	Längsfraktur		1		1
	Keil	2	13	7	22
Total		8	42	21	71

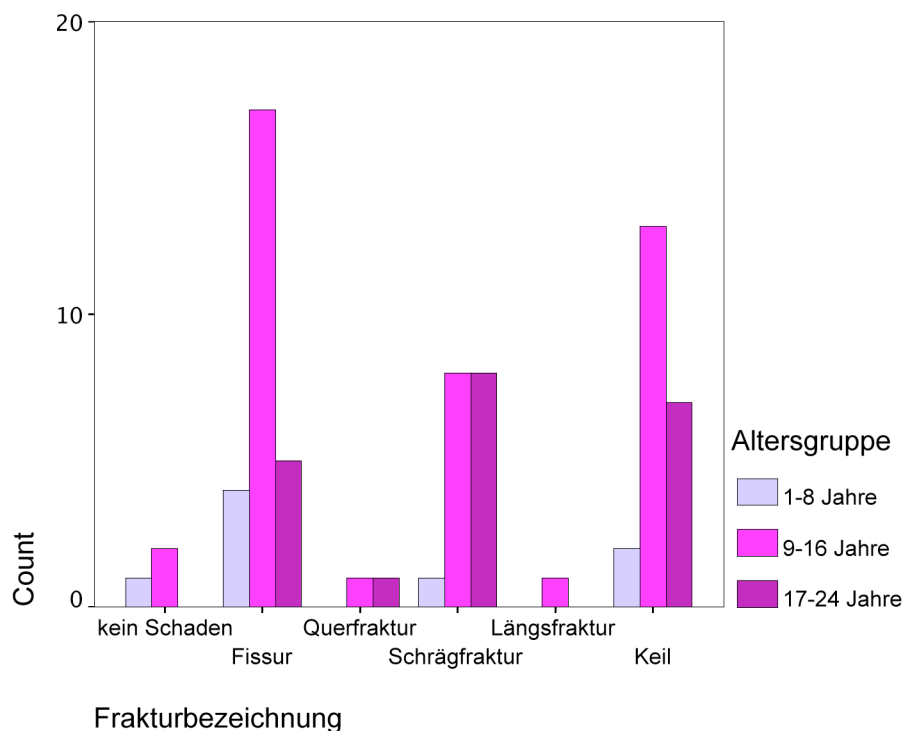


Diagramm 5: Frakturbilder in Abhängigkeit des Alters

4.4.2 Analytische Auswertungen der Frakturbilder

Für die analytischen Auswertungen mussten die entstandenen Frakturbilder auf Grund der Datenmenge in Frakturgruppen zusammengefasst werden. Dabei wurden drei Frakturgruppen gebildet: Inkomplette Frakturen, einfache Frakturen und Keilfrakturen. Die Knochen ohne sichtbare Schädigungen wurden bei den analytischen Auswertungen nicht berücksichtigt.

Frakturbilder bei Radius und Tibia im Vergleich

Bei der Auswertung der Frakturen von Radius und Tibia mit dem Chi-Quadrat Test wurde ein p von 0.006 festgestellt. Damit besteht eine signifikante statistische Abhängigkeit des entstandenen Frakturbildes von Radius und Tibia (Tab. 8 & 9; Diagramm 6).

Tabelle 8: Häufigkeit der Frakturgruppen bei Radius & Tibia

		Knochenbezeichnung		Total
		Radius	Tibia	
Frakturgruppen	Inkomplette Fraktur	19	7	26
	Einfache Fraktur	9	11	20
	Keilfraktur	6	16	22
Total		34	34	68

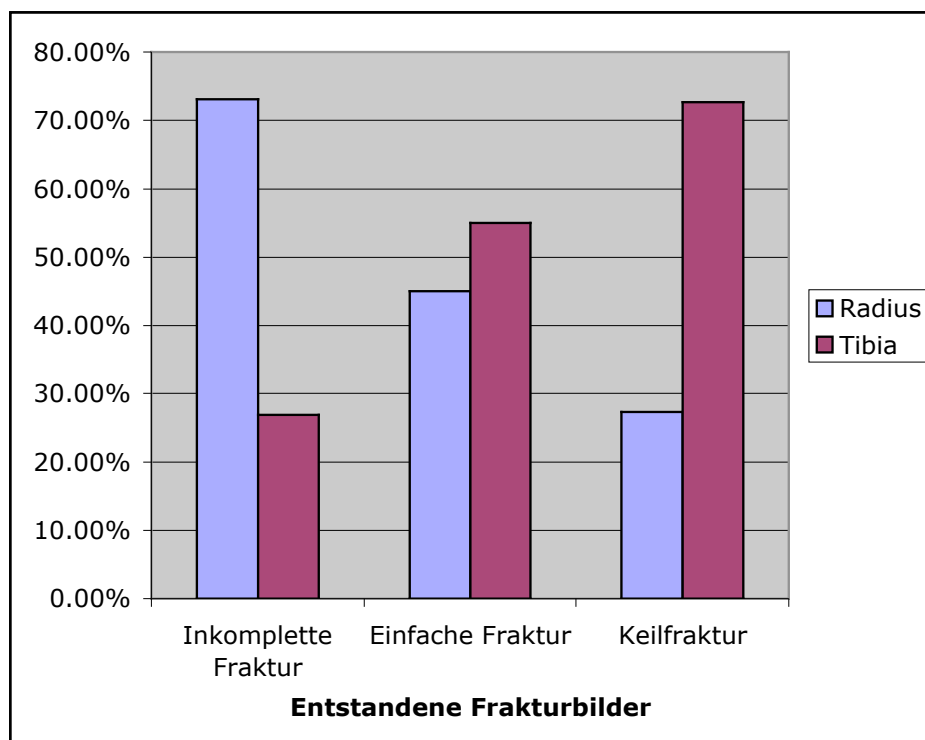


Diagramm 6: Frakturgruppen bei Radius & Tibia in Prozent

Tabelle 9: Abhängigkeit der Frakturgruppen von Radius & Tibia

Chi-Square Tests

	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	10.284 ^a	2	.006
Likelihood Ratio	10.671	2	.005
	68		

a. 0 cells (.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 10.00.

Frakturbilder der linken und rechten Gliedmasse im Vergleich

Die statistischen Auswertungen der Frakturbilder von der linken und der rechten Gliedmasse lassen keine Abhängigkeiten der entstandenen Frakturkonfigurationen von links und rechts erkennen (Tab. 10 & 11; Diagramm 7).

Tabelle 10: Häufigkeit der Frakturgruppen der linken & rechten Gliedmassen

		Seitenangabe		Total
		Rechts	Links	
Frakturgruppen	Inkomplette Fraktur	15	11	26
	Einfache Fraktur	10	10	20
	Keilfraktur	11	11	22
Total		36	32	68

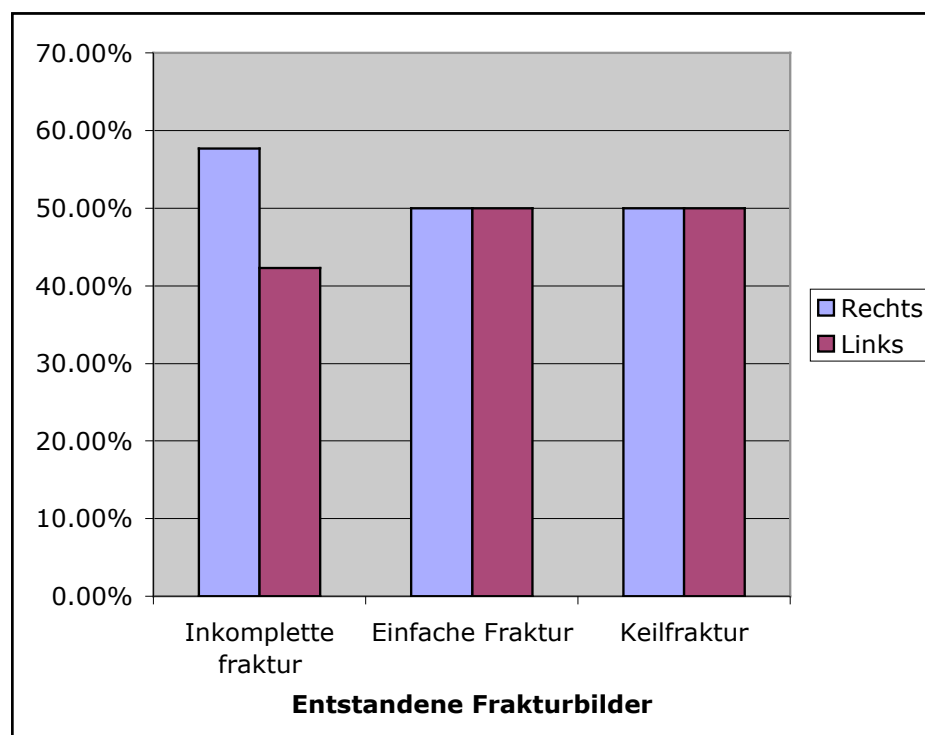


Diagramm 7: Frakturgruppen der rechten & linken Gliedmasse

Tabelle 11: Abhängigkeit der Frakturgruppen von der linken & rechten Gliedmasse

Chi-Square Tests

	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	.381 ^a	2	.826
Likelihood Ratio	.382	2	.826
	68		

a. 0 cells (.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 9.41.

Frakturbilder bei Wallach und Stute im Vergleich

Die Auswertungen der Frakturbilder von Wallach und Stute mit dem Chi-Quadrat Test ergeben ein p von 0,017. Damit besteht möglicherweise ein Zusammenhang zwischen den Frakturkonfigurationen und dem Geschlecht des Tieres (Tab. 12 & 13; Diagramm 8).

Tabelle 12: Häufigkeit der Frakturgruppen bei Wallach & Stute

		Geschlecht		Total
		Wallach	Stute	
Frakturgruppen	Inkomplette Fraktur	11	15	26
	Einfache Fraktur	16	4	20
	Keilfraktur	16	6	22
Total		43	25	68

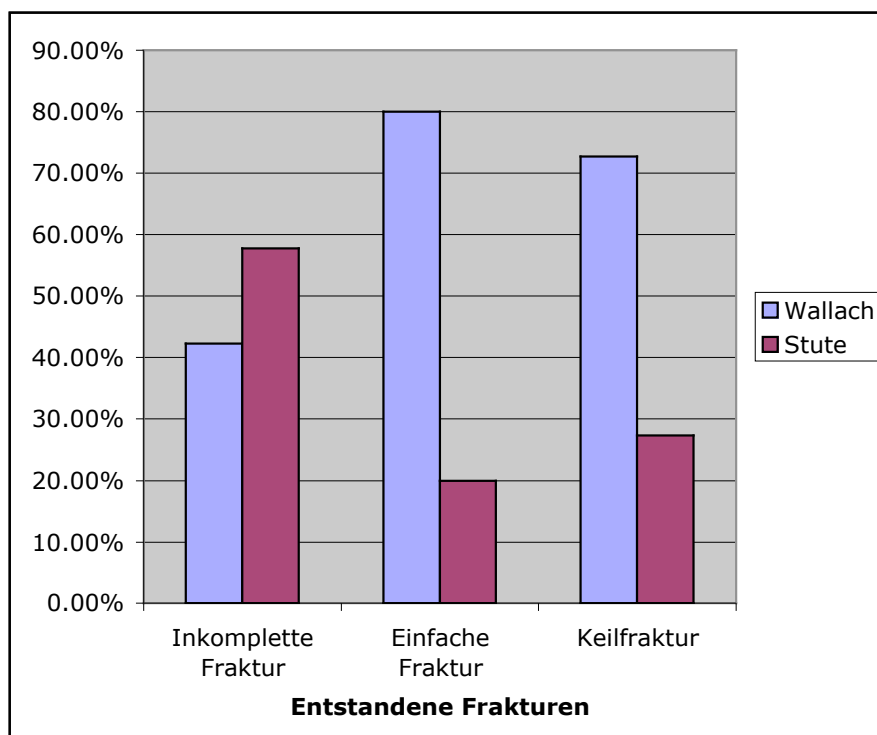


Diagramm 8: Frakturgruppen bei Wallach & Stute in Prozent

Tabelle 13: Abhängigkeit der Frakturgruppen von Wallach & Stute

Chi-Square Tests

	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	8.168 ^a	2	.017
Likelihood Ratio	8.222	2	.016
	68		

a. 0 cells (.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 7.35.

4.5 Detaillierte Beschreibung aller Frakturen

KN-Nr.	Klassifikation	Kurzbeschreibung der Fraktur
1	Ga1rl fi >3fa	Vollständig ausgebrochener Keil mit sehr schmaler Basis. Der Keil liegt auf der Gegenseite des Schlagpunktes und ist über eine gross gezackte Querfraktur mit dem Auftreffpunkt des Schlagkörpers verbunden. Zusätzlich sind kleine Fragmente, eine mediale und eine laterale Fissur vorhanden.
2	A fi >3fa	Querfraktur auf Höhe des Impacts mit gezackter Frakturlinie. Zusätzlich sind kleine Fragmente; eine mediale und eine laterale Fissur vorhanden.
3	Ga1sl fi >3fa	Vollständig ausgebrochener Keil, welcher längs fragmentiert ist. Der Keil liegt auf der Gegenseite des Schlagpunktes und ist über eine Querfraktur mit dem Auftreffpunkt des Schlagkörpers verbunden. Zusätzlich sind Fragmente und eine mediale Fissur vorhanden.
4	Ga1sl fi >3fa	Keil auf der Gegenseite des Schlagpunktes, welcher über eine Querfraktur mit dem Auftreffpunkt des Schlagkörpers verbunden ist. Der Keil ist kaudolateral ausgebrochen. Zusätzlich sind kleine Fragmente und eine mediale Fissur vorhanden.
5	Gb1sk fi <3fa	Keil auf der Gegenseite des Schlagpunktes, welcher über eine Querfraktur mit dem Auftreffpunkt des Schlagkörpers verbunden ist. Der Keil ist proximal auf kaudolateraler Seite ausgebrochen. Zusätzlich sind Fragmente und keilförmige Fissuren in Richtung distal vorhanden.
6	Ga1sl fi <3fa	Vollständig ausgebrochener Keil, welcher längs fragmentiert ist. Der Keil liegt auf der Gegenseite des Schlagpunktes und ist über eine Querfraktur mit dem Auftreffpunkt des Schlagkörpers verbunden. Zusätzlich sind Fragmente und eine mediale Fissur vorhanden.
7	B <3fa	Schrägfraktur, welche medial vom Schlagpunkt nach lateral und proximal verläuft. Zusätzlich sind Fragmente vorhanden.
8	Gb2sk fi >3fa	Unvollständig ausgebrochener Keil, welcher direkt vom Impact ausgeht. Die Frakturlinie verläuft grob gezackt und der Keil ist längs fragmentiert. Zusätzlich sind Fragmente und Fissuren vorhanden.
9	R	Keine Schädigung
10	B fi <3fa	Schrägfraktur, welche vom Schlagpunkt ausgehend nach kaudo-lateral und distal verläuft. Zusätzlich sind Fragmente, eine mediale und eine laterale Fissur vorhanden.
11	D fi >3fa	Längsfraktur, welche direkt vom Impact ausgeht. Zusätzlich sind Fragmente und Fissuren vorhanden.
13	O	Feine Fissur medial und lateral. Makroskopisch ist nur medial eine Fissur sichtbar.
14	O	Feine Fissur medial und lateral. Makroskopisch ist nur medial eine Fissur sichtbar.
15	Gb2sk fi <3fa	Keil, welcher nur kaudal ausgebrochen ist. Der Keil liegt auf der Gegenseite des Schlagpunktes und ist über eine Querfraktur mit dem Auftreffpunkt des Schlagkörpers verbunden. Zusätzliche verlaufen in Richtung distal keilförmige Fissuren. Daneben sind Fragmente, eine mediale und eine laterale Fissur vorhanden.
16	Gb2sl fi >3fa	Keil auf der Gegenseite des Schlagpunktes. Er ist über eine Querfraktur mit dem Auftreffpunkt des Schlagkörpers verbunden, unvollständig ausgebrochen und längs fragmentiert. Zusätzlich sind Fragmente, eine mediale und eine laterale Fissur vorhanden.

17	B fi	Schrägfraktur, welche vom Schlagpunkt ausgehend nach latero-distal verläuft. Die Frakturlinie ist gezackt. Zusätzlich sind eine mediale und eine laterale Fissur vorhanden.
18	B fi <3fa	Schrägfraktur, welche vom Schlagpunkt ausgehend nach latero-proximal verläuft. Zusätzlich sind Fragmente direkt unterhalb des Impacts und eine mediale und eine laterale Fissur vorhanden.
19	Gb3sl fi <3fa	Keil auf der Gegenseite des Schlagpunktes. Er ist über eine Querfraktur mit dem Auftreffpunkt des Schlagkörpers verbunden. Der Keil geht vom Impact aus nach proximal und ist kaudolateral ausgebrochen, keilförmige Fissuren führen nach distal. Zusätzlich sind Fragmente und eine mediale Fissur vorhanden.
20	B fi <3fa	Schrägfraktur, welche vom Schlagpunkt ausgehend nach latero-distal verläuft. Zusätzlich führt eine keilförmige Fissur nach proximal. Daneben ist auf medialer Seite distal des Impacts ein grosses Fragment vorhanden.
21	B fi <3fa	Schrägfraktur, welche ausgehend vom Schlagpunkt nach lateral und proximal verläuft. Zusätzlich sind Fragmente und eine laterale und eine mediale Fissur vorhanden.
22	B fi >3fa	Schrägfraktur, welche ausgehend vom Schlagpunkt nach lateral und proximal verläuft. Zusätzlich sind Fragmente und Fissuren kranial, lateral und medial vorhanden.
23	O	Gut sichtbare Fissur medial und feine Fissur lateral. Makroskopisch ist nur die mediale Fissur erkennbar.
24	Gb2sk fi <3fa	Keil auf der Gegenseite des Schlagpunktes, welcher über eine Querfraktur mit dem Auftreffpunkt des Schlagkörpers verbunden ist. Der Keil ist proximal längs fragmentiert, distal nur kaudal vorhanden und auf kaudaler Seite ausgebrochen. Zusätzlich sind Fragmente und eine mediale Fissur vorhanden.
25	O	Feine Fissur medial und lateral. Makroskopisch ist nur medial eine Fissur sichtbar.
26	Gb3sl fi	Unvollständig ausgebrochener Keil auf der Gegenseite des Schlagpunktes. Der Keil ist über eine Querfraktur mit dem Auftreffpunkt des Schlagkörpers verbunden. Zusätzlich sind eine mediale und eine laterale Fissur vorhanden.
27	Gb4sl fi >3fa	Keil auf der Gegenseite des Schlagpunktes, welcher direkt vom Impact ausgeht. Er ist längs fragmentiert und proximal nur kaudal ausgebrochen. Zusätzlich ist medial und lateral eine Fissur erkennbar und direkt unter dem Impact ist ein grosses Fragment vorhanden.
28	E fi >3fa	S-förmige Schrägfraktur vom Schlagpunkt ausgehend, welche disto-kranial und proximo-kaudal verläuft. Zusätzlich sind medial und lateral Fissuren vorhanden und auf medialer Seite liegt ein grosses Fragment in Richtung distal.
29	O	Sehr feine Fissur medial und lateral. Makroskopisch ist nur die mediale Fissur erkennbar.
30	O	Sehr feine Fissur medial und lateral. Makroskopisch ist nur die mediale Fissur erkennbar.
31	Gb2sl fi >3fa	Keil auf der Gegenseite des Schlagpunktes, welcher längs fragmentiert und kaudal ausgebrochen ist. Der Keil ist über eine Querfraktur mit dem Auftreffpunkt des Schlagkörpers verbunden. Zusätzlich sind Fragmente und eine mediale Fissur vorhanden.
32	R	Keine Schädigung
33	B fi <3fa	Schrägfraktur, welche vom Schlagpunkt in Richtung proximal und lateral verläuft. Keilförmige Fissuren verlaufen nach distal. Zusätzlich sind noch Fragmente vorhanden.
34	O	Feine Fissur medial und lateral. Makroskopisch ist nur medial eine Fissur sichtbar.

35	O	Feine Fissur medial und lateral. Makroskopisch ist nur medial eine Fissur sichtbar.
36	O	Weit nach proximal und distal reichende Fissuren medial und lateral. Makroskopisch sind keine Fissuren erkennbar.
37	O	Feine Fissur medial und lateral. Makroskopisch ist nur medial eine Fissur sichtbar.
38	O	Feine Fissur medial und lateral. Makroskopisch ist nur medial eine Fissur sichtbar.
39	Gb2sk fi <3fa	Keil auf der Gegenseite des Schlagpunktes, welcher über eine Querfraktur mit dem Auftreffpunkt des Schlagkörpers verbunden ist. Der Keil ist kaudal ausgebrochen. Zusätzlich verlaufen keilförmige Fissuren in Richtung kranial und distal. Daneben sind Fragmente und eine mediale Fissur vorhanden.
40	Gb2sk fi	Keil auf der Gegenseite des Schlagpunktes, welcher direkt vom Impactpunkt ausgeht. Zusätzlich verläuft distal eine Fissur in Richtung kaudal und lateral.
41	Gb2sk fi <3fa	Keil auf der Gegenseite des Schlagpunktes, welcher über eine Querfraktur mit dem Auftreffpunkt des Schlagkörpers verbunden ist. Der Keil ist kranial und lateral ausgebrochen. Zusätzlich verlaufen keilförmige Fissuren distal in Richtung kaudal. Daneben sind Fragmente und eine mediale Fissur vorhanden.
42	O	Feine Fissur medial und lateral. Makroskopisch ist nur medial eine Fissur sichtbar.
43	B fi <3fa	Schrägfraktur, welche ausgehend vom Schlagpunkt nach lateral und proximal verläuft. Zusätzlich sind Fragmente und eine laterale und eine mediale Fissur vorhanden.
44	B fi <3fa	Schrägfraktur, welche ausgehend vom Schlagpunkt nach lateral und proximal verläuft. Zusätzlich sind Fragmente und lateral und medial eine Fissur vorhanden.
45	B fi >3fa	Schrägfraktur, welche ausgehend vom Schlagpunkt nach lateral und proximal verläuft. Die Frakturlinie verläuft gezackt. Zusätzlich ist medial ein Fragment, lateral und medial eine Fissur vorhanden.
46	A fi <3fa	Querfraktur mit gezackter Linie. Zusätzliche keilförmige Fissuren verlaufen distal in Richtung kranial und lateral. Kaudolateral ist ein grosses Fragment sichtbar und medial und lateral sind Fissuren vorhanden.
47	O	Feine Fissur medial und lateral. Makroskopisch ist medial Fissur sichtbar.
48	B fi >3fa	Schrägfraktur, welche ausgehend vom Schlagpunkt nach lateral und proximal verläuft. Zusätzlich keilförmige Fissuren verlaufen in Richtung distal und zudem sind Fragmente vorhanden.
49	O	Feine Fissur medial und lateral. Makroskopisch ist nur medial eine Fissur sichtbar.
50	O	Sehr feine Fissur medial und lateral. Makroskopisch ist nur die mediale Fissur erkennbar.
51	B fi <3fa	Schrägfraktur, welche ausgehend vom Schlagpunkt nach lateral und proximal verläuft. Zusätzlich verlaufen keilförmige Fissuren in Richtung distal und daneben sind Fragmente vorhanden.
52	Gb3sk fi >3fa	Keil auf der Gegenseite des Schlagpunktes, welcher über eine Querfraktur mit gezackter Linie mit dem Auftreffpunkt des Schlagkörpers verbunden ist. Der Keil ist proximal und kaudal ausgebrochen. Zusätzlich verlaufen Fissuren keilförmig in Richtung distal. Kaudo-medial beim Impact ist zudem ein grosses Fragment erkennbar und medial und lateral sind Fissuren vorhanden.

53	O	Feine Fissur medial und lateral. Makroskopisch ist nur medial eine Fissur sichtbar.
54	O	Sehr feine Fissur medial und lateral. Makroskopisch ist nur die mediale Fissur erkennbar.
55	B fi <3fa	Schrägfraktur, welche ausgehend vom Schlagpunkt nach lateral und distal verläuft. Zusätzlich sind Fragmente und lateral eine Fissur vorhanden.
56	Gb2rl fi >3fa	Unvollständig ausgebrochener Keil auf der Gegenseite des Schlagpunktes, welcher über eine Querfraktur mit dem Auftreffpunkt des Schlagkörpers verbunden ist. Der Keil ist längs fragmentiert. Zusätzlich sind Fissuren und Fragmente vorhanden.
58	O	Sehr feine Fissur medial und lateral. Makroskopisch ist nur die mediale Fissur erkennbar.
59	Gb2sk fi	Keil auf der Gegenseite des Schlagpunktes, welcher über eine Fissur mit dem Auftreffpunkt des Schlagkörpers verbunden ist. Der Keil ist kaudal ausgebrochen. Zusätzlich verläuft eine Fissur von medio-proximal in Richtung kranio-distal.
60	B fi <3fa	Schrägfraktur, welche ausgehend vom Schlagpunkt nach lateral und proximal verläuft. Zusätzlich verläuft medial eine Fissur in Richtung proximal und kaudal. Daneben sind Fragmente und eine laterale Fissur vorhanden.
62	O	Sehr feine Fissur medial und lateral. Makroskopisch ist nur die mediale Fissur erkennbar.
64	O	Feine Fissur medial und lateral, weit nach distal reichend. Makroskopisch ist nur medial eine Fissur sichtbar.
65	Gb1sk fi <3fa	Keil auf der Gegenseite des Schlagpunktes, welcher über eine Querfraktur mit dem Auftreffpunkt des Schlagkörpers verbunden ist. Der Keil ist kaudal proximal des Impacts ausgebrochen. Zusätzlich ist eine laterale Fissur und ein Fragment distal des Schlagpunktes auf medialer Seite vorhanden.
66	O	Feine Fissur medial und lateral. Makroskopisch ist nur medial eine Fissur sichtbar.
67	B fi <3fa	Schrägfraktur, welche ausgehend vom Schlagpunkt nach lateral und proximal verläuft. Zusätzlich sind Fragmente, eine laterale und eine mediale Fissur vorhanden.
68	O	Feine Fissur medial und lateral. Makroskopisch ist nur medial eine Fissur sichtbar.
69	O	Feine Fissur medial und lateral. Makroskopisch ist nur medial eine Fissur sichtbar.
70	O	Sehr feine Fissur medial und lateral. Makroskopisch ist nur die mediale Fissur erkennbar.
71	O	Sehr feine Fissur medial und lateral. Makroskopisch ist nur die mediale Fissur erkennbar.
72	Gb1sk fi >3fa	Keil auf der Gegenseite des Schlagpunktes, welcher über eine Querfraktur mit dem Auftreffpunkt des Schlagkörpers verbunden ist. Der Keil ist kaudal und distal ausgebrochen. Zusätzliche keilförmige Fissuren verlaufen in Richtung proximal und daneben sind Fragmente vorhanden.
74	O	Feine Fissur medial und lateral. Die mediale Fissur reicht weit nach distal. Makroskopisch ist keine Schädigung erkennbar.
75	R	Keine Schädigung
76	Ga1sk fi >3fa	Keil auf der Gegenseite der Schagseite, welcher über eine Querfraktur mit dem Auftreffpunkt des Schlagkörpers verbunden ist. Zusätzlich sind Fragmente, eine laterale und eine mediale Fissur vorhanden.

5. Diskussion

5.1 Material und Methoden

5.1.1 Untersuchungsmaterial

Für die Versuche wurden stichprobenartig Knochen von Pferden verwendet, die aus unterschiedlichen Gründen getötet werden mussten. Die Knochen von Tieren, die zu Lebzeiten an einer diagnostizierten metabolischen Knochenerkrankung gelitten hatten, wurden von den Versuchen ausgeschlossen. Die Untersuchungen beschränkten sich auf Radius und Tibia, da bei diesen Knochen nach Schlagverletzungen öfters Frakturen und Fissuren festgestellt wurden [2, 45].

5.1.2 Präparation und Vorbereitung der Knochen

Die Schlagversuche wurden mit einer Hochgeschwindigkeitskamera aufgenommen, um wichtige Erkenntnisse über Bruchbeginn und Frakturverlauf zu gewinnen. Für die Videoaufnahmen mussten indes alle Muskeln und Sehnen, die den Knochen umhüllten, entfernt werden. Der Weichteilmantel dient freilich unter anderem dem Schutz des Knochens [52]. Diese Schutzfunktion wurde auch in einer Studie mit dynamischen Bruchversuchen an Kaninchenknochen bestätigt. Allerdings unterschieden sich die entstandenen Frakturkonfigurationen der bedeckten Knochen nicht von denen der unbedeckten Knochen [53]. Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde der Einfluss des Weichteilgewebes auf die mögliche Frakturkonfiguration nach einem Schlag in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt. Trotzdem wäre es interessant, den tatsächlichen Effekt des Weichteilgewebes von Radius und Tibia mit Vergleichsversuchen an unpräparierten Gliedmassen zu untersuchen. Eine weitere Funktion des Gewebemantels liegt im Schutz des Knochens vor Austrocknung. Eine Austrocknung der Knochenmatrix würde zu einer Versprödung des Knochens und somit zu einer Veränderung des Bruchverhalten führen [54], weshalb die präparierten Knochen speziell verpackt wurden.

Da Fissuren oft schwierig zu erkennen sind, wurde zusätzlich das Periost entfernt. Die Knochenhaut hätte womöglich den Knochen nach dem Schlag zusammengehalten, womit weniger grosse Schäden makroskopisch noch schlechter erkennbar gewesen wären.

Aus versuchstechnischen Gründen wurden die Knochen auf eine einheitliche Gesamtlänge gekürzt. In vorangehenden Untersuchungen wurden die Versuchsknochen zudem mit dem Mikrocomputertomographen XtremeCT untersucht, um Informationen über Dichte und Geometrie der einzelnen Knochen zu erhalten. Da dieses Gerät auf Probenmaterial mit limitierter Grösse beschränkt ist, wurden die Knochen auf die Gesamtlänge von 38 cm gekürzt.

5.1.3 Bruchversuch

Die in dieser Dissertation durchgeführten Auswertungen der Frakturkonfigurationen waren Teil eines umfangreichen Projektes über das Frakturverhalten von Radius und Tibia des Pferdes nach einem Schlag.

Da Pferde mit unterschiedlicher Intensität ausschlagen und sich die geschlagenen Pferde in mannigfachen Bewegungsabläufen befinden können, sind die einwirkenden Kräfte von Fall zu Fall verschieden. Auch der Hufschlag an sich ist eine komplizierte Kombination von unterschiedlichen Bewegungen der Glieder einer Gliedmasse. Ein Bein wird durch die Arbeit von verschiedenen Muskeln in Bewegung gesetzt, was zu zahlreichen Rotations- und Translationsbewegungen zwischen den Gelenken führt. Die komplexen Bewegungsabläufe eines austretenden Pferdes zu imitieren, sind dementsprechend schwierig. Da die Folgen eines solchen Schlages vor allem von der Geschwindigkeit und des Auftreffwinkels abhängen (siehe anschliessende Ausführungen), wurden die Eigenbewegungen des ausschlagenden Pferdes bei den Bruchversuchen vernachlässigt.

Der Versuchsaufbau stellte folglich eine Annäherung an die natürlichen Gegebenheiten eines tatsächlichen Hufschlags dar. Die Ergebnisse sind deshalb nicht uneingeschränkt in die Praxis übertragbar.

Folgende Faktoren wurden beim Versuchsaufbau berücksichtigt:

Schlagkörper

Da das Hufeisen derzeit die häufigste Beschlagsart in der Schweiz ist, wurde die auf den Knochen auftreffende Fläche des Schlagkörpers der Form eines Hufeisens nachempfunden. Das Gewicht des Schlagkörpers betrug insgesamt 2 kg, was ungefähr der Masse von Huf inklusive aufgenageltem Hufeisen entspricht.

In einer Studie über das Verletzungspotential von Taekwondo-Kicks wurde herausgefunden, dass das Ausmaß der Verletzungen vor allem von der

Geschwindigkeit eines Schlages abhängt. Demnach scheinen Länge und Gewicht des Kämpferbeines keinen wesentlichen Einfluss auf die Schwere der Verletzungen zu haben [55]. Andere Studien untersuchten die Biomechanik von Fussball-Kicks und Baseball-Schlägen, wonach vor allem die Geschwindigkeit und der Auftreffwinkel für die Flugweite der geschlagenen Bälle und damit für die Effizienz der Energie - umwandlung massgebend war [56-61]. Die Biomechanik dieser Schlagtechniken kann durchaus mit dem Ausschlagen eines Pferdes verglichen werden.

Entsprechend ist das Verletzungspotential einer ausschlagenden Gliedmasse in erster Linie eine Funktion ihrer Geschwindigkeit und des Auftreffwinkels des getroffenen Beines. Aus diesem Grund wurden Eigenmasse der Gliedmasse und Eigengewicht des ausschlagenden Pferdes beim Versuchsaufbau vernachlässigt.

Fallturm

Mit Hilfe des Fallturms konnte der Schlagkörper im Vergleich zu Schille's Pendelversuchen auf grössere Geschwindigkeiten beschleunigt werden. Bei den durchgeführten Versuchen betrug die durchschnittliche Geschwindigkeit, welche nach dem Aufprall zu einer Fraktur führte, 7.96 m/s. Es ist anzunehmen, dass die Schlaggeschwindigkeiten, welche in vivo zu einer Fraktur von Radius oder Tibia führen, vermutlich noch höher liegen, da die Energieabsorption durch das Weichteilgewebe noch einberechnet werden müsste [52, 53] .

Knochenhalterung

Die gelenkigen Verbindungen einer Gliedmasse erlauben unter Krafteinwirkung gewisse Ausweichbewegungen, welche einen Teil der einwirkenden Energie absorbieren [52]. Indem die Knochen in Kunstharz eingegossen wurden, konnte eine starre Versuchsanordnung umgangen werden, da sich Kunstharz unter äusserlicher Krafteinwirkung ebenfalls verformt.

Die Knochen wurden so in die Knochenhalterung eingespannt, dass sie auf der medialen Seite vom Schlagkörper getroffen wurden. Dies weil Frakturen von Radius und Tibia in der Klinik häufig nach medialen Schlagverletzungen auf der Innenseite der Gliedmassen auftreten.

Neben der dynamischen Kraft eines Schlages sollte zudem die zusätzlich auf das betroffene Bein einwirkende Last des eigenen Körpergewichts berücksichtigt werden. Diese Belastung ist jedoch abhängig vom momentanen Bewegungs- und Belastungszustand der betroffenen Gliedmasse. Für die Bruchversuche wurden die

eingespannten Knochen mit einer axialen Kraft von 2400 N vorbelastet. Dies entspricht etwa der Kraft, die bei einem 500 kg schweren Pferd auf einer Gliedmasse lastet. Auf diese Weise wurde bewusst eine einheitliche Vorbelastung der Knochen als Ausgangslage für die Bruchversuche gewählt.

5.1.4 Analyse der Frakturen

Werden in einer Klinik Pferde mit Schlagverletzungen und Verdacht auf Frakturen eingeliefert, sind Röntgenbilder erste Hilfsmittel, um Schäden am Knochen zu erfassen. Jeder Radiologe weiss aus eigener Erfahrung um die Tücken bei der Interpretation von Röntgenbildern. Die Schwierigkeiten basieren teilweise darauf, dass ein dreidimensionaler Körper in eine zweidimensionale Ebene projiziert wird. Dazu kommt, dass der Knochen je nach Strahlengang verschieden abgebildet wird. Bei den durchgeführten Auswertungen der Frakturkonfigurationen konnten mit Hilfe der Bilder des Siremobil Iso-C 3D und der Software Osirix die Frakturen und Fissuren durch den ganzen Knochenquer- und Längsschnitt verfolgt werden. Dies erlaubte die exakte Beschreibung der Fraktur- und Fissurlinienverläufe. Osirix ermöglichte zudem die dreidimensionale rotierbare Rekonstruktion der frakturierten Knochen. Dazu wurden mit den Fotos und den Videosequenzen der gebrochenen Knochen weitere Hilfsmittel genutzt, welche in der alltäglichen Praxis nicht zur Verfügung stehen. Mit der Auswertung der entstandenen Frakturen wurde eine theoretische Basis von möglichen Bruchbildern nach einem Schlag erarbeitet. Mit diesem Grundwissen wird die Beurteilung von Frakturbildern nach Schlagverletzungen auf dem Röntgenbild massgeblich erleichtert. Frakturen und Fissuren können jetzt besser eingeschätzt werden, was zu einer Optimierung der intraoperativen Fixation führt. Damit müsste sich die Prognose für stabilisierte Frakturen in Zukunft nachhaltig verbessern.

5.2 Ergebnisse

5.2.1 Frakturentstehung

Wie schon vorgängig im Literaturteil beschrieben, zeigt Knochengewebe unter Belastung ein elastisches Verhalten. Wird der Fließpunkt (Elastizitätsgrenze) überschritten, kommt es zu einer plastischen Verformung des Gewebes, bis der Knochen schlussendlich versagt und bricht. Bei starker Belastung entstehen im Knochengewebe zuerst Mikrodefekte, welche der Energieabsorption dienen und dadurch grössere Schäden am Knochen verhindern sollten [62, 63]. Sie treten bereits

vor dem Fließpunkt in Erscheinung [64]. Je grösser die Belastung, desto diffuser verteilt, häufiger und grösser sind diese Mikrodefekte, bis schlussendlich makroskopisch erste Risse sichtbar werden [62, 64]. Knochengewebe kann also bereits beschädigt sein, ohne dass makroskopisch irgendwelche Schäden erkennbar sind. Die dokumentierten Frakturabläufe dieser Studie beschreiben dabei ausschliesslich die makroskopisch sichtbaren Veränderungen.

Mit den Bildern der Hochgeschwindigkeitskamera konnte eindeutig gezeigt werden, dass erste Schäden am Knochen jeweils auf der Gegenseite der einwirkenden Kraft auftraten. Auch in anderen Sachgebieten wurden die Folgen von Schlägen untersucht: Das Bild des Karatekämpfers, welcher mit blosser Hand Holz- oder Ziegelblöcke zerschlägt, dürfte wohl auch allgemein bekannt sein. Dieses Bild erzeugt Staunen und Faszination, weswegen solche Karateschläge bereits näher untersucht wurden. Die Untersuchungen zeigten, dass die Bretter und Ziegel ebenfalls auf der Gegenseite des einwirkenden Schlages zu brechen begannen. Durch den Karateschlag wird das Brett gebogen, worauf die faustferne Brettseite gedehnt und die faustnahe Brettseite komprimiert wird. Den Bruchbeginn auf der Gegenseite des Schlages erklären die Autoren mit der geringeren Zug- als Druckfestigkeit beider Materialien [65]. Wird ein Knochen von einem Schlag getroffen, so wird auch er gebogen. Die Videos der Bruchversuche zeigen, dass die Bruchfuge bei den geschlagenen Knochen ebenfalls auf der Biegezugseite beginnt. Die Videos der Schlagversuche bestätigen dadurch die Theorie von Leitz, wonach der Bruchfugenbeginn bei einer Biegebelastung auf der Biegezugseite des Knochens zu erwarten ist [19]. Die Aussage, dass Knochengewebe gegenüber Kompressionskräften widerstandsfähiger ist als gegenüber Zugkräften [66] wird durch die Aussage relativiert, dass Knochengewebe abhängig von der häufigsten Belastungsart am jeweiligen Ort entweder gegen Kompressions- oder gegen Zugkräfte widerstandsfähiger wird [21]. Dabei fällt auf, dass auch die Morphologie der Mikrodefekte, die einem Bruch des Knochens vorangehen, von der Belastungsart abhängen, welcher der jeweilige Knochenabschnitt im Alltag am häufigsten ausgesetzt ist (beispielsweise wird die kraniale Seite des Pferderadius vor allem auf Zug belastet, die kaudale Seite hingegen auf Druck) [21, 67].

In dieser Studie wird keine Aussage darüber gemacht, welche Kräfte oder Spannungen bei einer dynamischen Belastung schlussendlich zum Versagen des

Knochens führen. Es wurde jedoch eindeutig festgestellt, dass der makroskopisch sichtbare Beginn der Bruchfuge immer auf der Biegezugseite zu finden war.

5.2.2 Entstandene Frakturen

Die Fallversuche erzeugten verschiedenartige Bruchbilder, die durch die unterschiedlichen Materialeigenschaften und ungleich absorbierte Energiemengen der Versuchsknochen erklärbar sind. Aufgrund der detaillierten Auswertung der entstandenen Fraktur- und Fissurlinien können nach einem Schlag folgende Frakturkonfigurationen erwartet werden:

1. Kein erkennbarer Schaden
2. Fissur
3. Querfraktur
4. Schrägfraktur
5. Keilfraktur
6. Trümmerfraktur

Das Ausmass der Schädigung am Knochengewebe ist, wie vorgängig bereits zitiert, abhängig vom Energiezustand des Knochens kurz bevor er bricht: Je höher der Energiezustand, desto grösser und komplexer ist die Schädigung des Knochengewebes [13]. Vergleicht man die Schwere der entstandenen Schäden, so ist anzunehmen, dass die aufgenommene Energie der Knochen von Frakturbild 1 zu 6 zunimmt. Dass der Calcium-Gehalt von Knochengewebe einen Einfluss auf die Festigkeit von Knochen hat, ist bekannt [68, 69]. Ob hingegen der Calcium-Gehalt des Knochens auch einen Einfluss auf die Frakturkonfiguration nach einem Schlag hat, wäre eine weitere interessante Fragestellung, kann hier aber nicht beantwortet werden.

5.2.3 Inkomplette Frakturen

Fissuren

Fissuren traten bei den dynamischen Versuchen in mehr als einem Drittel der Fälle auf. Die Fissuren verliefen immer in Längsrichtung des Knochens. Auch Schille beobachtete bei seinen dynamischen Versuchen nebst Frakturen Fissuren in Längsrichtung [27]. Zudem waren in einer retrospektiven Studie über 23 Radius- und Tibiafissuren 17 Fissuren durch einen Schlag verursacht und verliefen wie auch in dieser Studie meist vertikal [2].

Nach Hufschlägen muss daher vermehrt mit Fissuren in vertikaler Richtung gerechnet werden. Zu bedenken ist, dass die dynamischen Versuche ausschliesslich auf die Diaphyse beschränkt waren. Ob solche vertikale Fissuren auch bei Schlägen im Bereich der Metaphyse oder im Bereich von Gelenken entstehen, bleibt somit offen. Indessen wurden parasagittale Fissuren und Frakturen im Bereich von Metaphysen und Gelenken in Untersuchungen über Metakarpal- und Metatarsalfrakturen bei Rennpferden im Training häufig festgestellt [70, 71]. Obwohl diese Frakturen hauptsächlich als Ermüdungsfrakturen charakterisiert werden, sollte man auch bei Schlägen im Bereich von Metaphysen oder Gelenken mit zusätzlichen vertikalen Fissuren rechnen.

Bei den Auswertungen der entstandenen Knochenschäden war es trotz all der zusätzlichen Hilfsmittel teilweise sehr schwierig, die Fissuren nach der Schlageinwirkung zu identifizieren. In der Praxis stehen einem häufig nur die Röntgenaufnahme und das klinische Bild des Patienten als Beurteilungsgrundlage zur Verfügung. Je nach Strahlengang der Röntgenstrahlen ist es aber durchaus möglich, dass eine Fissur gar nicht abgebildet wird. Aus diesem Grund erhöhen sich die Schwierigkeiten der Fissurdiagnostik unter klinischen Bedingungen massiv. Derungs rät bei Fissurverdacht und negativem radiologischem Befund zu einer Neubeurteilung nach zehn Tagen. Nach dieser Zeit sollten die Fissurlinien durch Regenerations- und Reparationsprozesse des Knochengewebes besser erkennbar sein [2]. Die Auswertungen der Bruchversuche zeigten eindrücklich, dass Fissuren nach einem Schlag häufig zu erwarten sind. Die Resultate unserer Studie bekräftigen somit die Notwendigkeit einer radiologischen Neubeurteilung von geschlagenen Pferden mit Fissurverdacht nach einigen Tagen. Bis zum Kontrollröntgen müssen die Pferde strikte geschont werden. Denn werden solche Pferde zu früh einer Belastung ausgesetzt, besteht die Gefahr, dass aus einer Fissur eine Fraktur entsteht. Dies würde für das jeweilige Pferd eine deutlich schlechtere Prognose zur Folge haben.

5.2.4 Komplette Frakturen

Einfache Frakturen: Querfrakturen und Schrägfrakturen

Bei den Auswertungen der Bruchbilder wurden 20 einfache Frakturen beobachtet. Davon waren 85 % Schräg- und 10 % Querfrakturen. Im Gegensatz dazu erhielt Schille bei den Auswertungen der einfachen Frakturen seiner dynamischen Bruchversuche 80 % Quer- und 20 % Schrägfrakturen [27]. Die ungleichen

Ergebnisse der beiden dynamischen Studien lassen sich vermutlich auf die unterschiedliche Versuchsanordnung zurückführen. Bei Schille wurden die Knochen der einwirkenden Kraft eines Pendels ausgesetzt. Diese Versuchsanordnung entspricht einer dynamischen Biegung. Die in dieser Studie ausgewerteten Knochen wurden bei den Bruchversuchen neben der dynamischen Biegung auch einer axialen Belastung ausgesetzt. Auf diese Weise wurde das eigene Körpergewicht des Pferdes imitiert. Die Versuchsanordnung entspricht demnach einer Kompression mit dynamischer Biegung. Nach Leitz entstehen bei dynamischer Biegung Querbrüche und bei dynamischer Torsion Schrägbrüche [19]. Dies erklärt einerseits die Querbrüche aus dem Nachstellungsversuch von Schille. Andererseits deutet dies darauf hin, dass es unter Kompression und dynamischer Biegung zu einer Torsionsbewegung des Knochens kommt, was schliesslich zu den beobachteten Schrägbrüchen geführt haben könnte. Der Vergleich mit den Resultaten, die von Sanders-Shamis und Mitarbeitern in ihrer klinischen retrospektiven Studie von Radiusfrakturen publiziert wurde, ist hochinteressant. Sie beobachteten 63 % Schräg- und 37 % Querfrakturen bei den einfachen Frakturen, welche häufig durch einen Schlag verursacht wurden. Bedeutsam ist zudem, dass sie Querfrakturen ausschliesslich bei Fohlen, welche jünger als 6 Monate alt waren, beobachteten [4]. Frakturen bei Fohlen sind jedoch häufig nicht durch einen Schlag auf das belastete Bein bedingt, sondern entstehen, wenn die Fohlen im Liegen von einem anderen Pferd getreten werden. Im Liegen entfällt die axiale Vorbelastung, womit es wiederum zu einer dynamischen Biegung kommt, was die Querbrüche bei den Fohlen erklären würde. Die von Sanders-Shamis et al. in der Klinik häufig beobachteten Schrägfrakturen nach Schlagverletzungen lassen vermuten, dass der vorliegende Versuchsaufbau eine gute Annäherung der tatsächlichen Gegebenheiten und Abläufe bei einer Schlagfraktur darstellt.

Komplexe Frakturen: Keilfrakturen

Die Keilfraktur war mit 52 % die häufigste Bruchform der beobachteten kompletten Frakturen. Damit bestätigen die Untersuchungsergebnisse die Hypothese, dass nach einer Schlageinwirkung Keilfrakturen entstehen. Der Anteil an komplexen Frakturen war bei den Pendelversuchen von Schille mit 20 % Trümmerbrüchen jedoch deutlich kleiner [27]. Hingegen war bei der retrospektiven Studie von Sanders-Shamis et al. der Trümmerbruch mit 52,5 % wieder sehr oft beobachtet worden [4]. Leider wurden

die Trümmerbrüche der Studien von Schille und Sanders-Shamis et al. nicht detaillierter beschrieben. Die Vermutung liegt aber nahe, dass ein Teil dieser Trümmerbrüche Keilfrakturen waren. Demnach würden auch Keilfrakturen nach Schlagverletzungen in der Praxis gehäuft auftreten. Der Häufigkeitsunterschied der beobachteten komplexen Frakturen zwischen Schille und der in dieser Studie analysierten Frakturen lässt sich vermutlich auch auf den unterschiedlichen Versuchsaufbau zurückführen. Bei den beobachteten Keilfrakturen unserer Studie lag die Basis der Keile ausnahmslos auf der Gegenseite der einwirkenden Kraft (siehe Abb. 49, Kapitel 4.2.2). Dies widerspricht verschiedenen Literaturangaben, wonach bei gleichzeitiger Beugung und Kompression ein Keil mit Basis auf der Kompressionsseite entsteht [72, 73, 74]. In den 60er Jahren wurde noch anhand der Lage eines ausgesprengten Knochendreiecks am Unterschenkel der Hergang von Verkehrsunfällen rekonstruiert. Damals hielt man daran fest, dass die Kraft immer an der Basis des ausgesprengten Dreiecks angreift. Da in einigen Fällen auch Knochendreiecke gefunden wurden, deren Basis auf der Gegenseite der Krafteinwirkung lag, wurde diese Differenz bereits von Sellier 1964 untersucht. Er führte dynamische Knochenbruchversuche an der menschlichen Tibia durch, um herauszufinden, ob bei einem Knochenbruch auch wirklich Dreiecke entstehen würden, deren Basis der Krafteinwirkung gegenüber liegt. Anhand seiner Versuche konnte er diese Fragestellung mit einem eindeutigen Ja beantworten [20]. Seine Ergebnisse wurden durch die Auswertung der Bruchversuche dieser Studie bestätigt. Obwohl Leitz der Meinung war, dass eine punktförmige Belastung gar nicht auftritt, führte er trotzdem eine theoretische Abhandlung einer punktförmigen Biegebelastung durch. Er kam damals zum Schluss, dass eine derartige Belastungsform zu einer Aussprengung eines Biegungskeils auf der Biegezugseite führen könnte [19]. Obgleich Leitz bei seinen Ausführungen von statischen Belastungen ausging, würden die Versuchsergebnisse der punktförmigen Belastung des Versuchsaufbaus dieser Studie der Annahme von Leitz entsprechen.

Es wäre interessant herauszufinden, ob die Hypothese, dass nach einer Schlagverletzung auch Keilfrakturen mit Basis auf der Schlaggegenseite entstehen, durch eine detaillierte Auswertung von klinischen Frakturen nach Schlagverletzungen bestätigt werden könnte.

Zusätzliche Fragmente

Bei den kompletten Frakturen waren unterhalb des Auftreffpunktes des Schlagkörpers häufig mehrere kleine Fragmente zu sehen. Auch Schille beobachtete bei seinen Versuchen an Röhrenknochen einfache Frakturen mit Splintern bei der Auftreffstelle seines Pendels [27]. Die Splitter entstehen bei einer dynamischen Traumatisierung [75]. Folglich darf man bei einem Bruch mit mehreren kleinen Splintern an einer Lokalisation annehmen, dass die Fraktur in Folge einer dynamischen Einwirkung an jener Stelle entstanden ist.

Zusätzliche Fissuren

Zusätzliche Fissuren waren bei 98 % der kompletten Frakturen vorhanden. Bei einer chirurgischen Stabilisation einer kompletten Fraktur nach einer Schlagverletzung muss deshalb zwingend damit gerechnet werden, dass zusätzliche Fissuren, meist in Längsrichtung oder aber in einem 45° Winkel vom Einwirkungspunkt aus, vorhanden sind. Dies sollte intraoperativ bei der Positionierung der Fixationsplatten und der Schrauben berücksichtigt werden.

5.2.5 Frakturbilder in Bezug auf verschiedene Parameter

In den statistischen Auswertungen konnte eine signifikante Abhängigkeit zwischen der Knochenart (Radius oder Tibia) und den entstandenen Frakturkonfigurationen festgestellt werden. Bei der Tibia sind vermehrt grössere Schäden als beim Radius zu finden. Es ist anzunehmen, dass dieser Unterschied an der ungleichen Knochenform und am unterschiedlichen Aufbau der beiden Knochen liegt. Nach Meier hat die Tibia die grössere Querschnittsfläche, den dickeren Kortex und eine grössere Dichte [48]. Wie schon vorgängig zitiert, ist die Schädigung eines Knochens auch abhängig vom Energiezustand des Knochens [13]. Eine mögliche Erklärung für die massiveren Schäden bei der Tibia könnte sein, dass es bei der Tibia zu einer grösseren Anzahl von Mikrodefekten kommt. Mikrodefekte absorbieren eine beträchtliche Menge Energie bevor das Knochengewebe versagt [63, 76]. Dementsprechend würden mehr Mikrodefekte mehr Energie absorbieren. Dieser höhere Energiezustand würde dann in Form von grösseren Schäden nach dem Bruch des Knochens sichtbar werden. Die Frakturkonfigurationen zeigten keine Abhängigkeit von der linken bzw. rechten Gliedmasse. Die Seitenangabe hat somit keinen Einfluss auf die Frakturkonfiguration. Nach unseren statistischen

Auswertungen besteht möglicherweise ein Zusammenhang zwischen den Frakturkonfigurationen und dem Geschlecht des Tieres. Man muss aber bedenken, dass in dieser Studie 43 Knochen von Wallachen und 25 Knochen von Stuten ausgewertet wurden. Bei der Auswertung bestand also ein grosser Unterschied bezüglich der Datenmengen der verglichenen Parameter. Zudem wurden die Struktur und Dichte derselben Knochen vorgängig im Rahmen einer anderen Dissertation untersucht. Meier konnte kaum Unterschiede zwischen den Knochen von Stuten und Wallachen feststellen [48]. Auch andere Autoren haben die mechanischen Eigenschaften von Pferdeknochen untersucht und konnten bezüglich der Knochenmineraldichte keine Unterschiede zwischen den Geschlechtern feststellen [77]. Die Abhängigkeit der Frakturkonfiguration vom Geschlecht ist aus diesem Grund äusserst fraglich.

Die Frage, ob das Alter der Pferde bei Frakturkonfigurationen nach einem Schlag eine Rolle spielt, konnte bei diesen Auswertungen nicht beantwortet werden, da die Datenmenge pro Altersgruppe für eine statistische Auswertung nicht ausgereicht hatte. Bei allen Altersgruppen traten aber sowohl inkomplette als auch komplette Frakturen auf.

Schlussendlich ist festzuhalten, dass die Aufgaben von Knochen vielfältig sind. Sie sollten unter anderem auch eine gewisse Festigkeit haben, möglichst leicht sein und Frakturen gegenüber höchst resistent sein. Der Aufbau des Knochengewebes ist einerseits durch die Genetik vorbestimmt und passt sich andererseits der alltäglich ausgesetzten Belastung an [10]. Damit muss das Knochengewebe Kompromisse eingehen, weshalb es vermutlich viel widerstandsfähiger gegenüber dauerhaft einwirkenden Kräften wie der axialen Belastung der Gliedmassen ist, als gegenüber kurz dauernden dynamischen Belastungen in anderer Richtung, wie dies beispielsweise bei einem Huftritt quer zur Längsachse der Gliedmasse der Fall ist.

6. Literaturverzeichnis

1. **Bachmann, I., Stauffacher M. (2002):** Haltung und Nutzung von Pferden in der Schweiz: Eine repräsentative Erfassung des Status quo. Schweiz. Arch. Tierheilk. 144: Seiten 331-347.
2. **Derungs, S. (2002):** Schlagverletzungen beim Pferd. Diss. med. vet. Zürich.
3. **Silbersiepe, E., Berge E. (1958):** Krankheiten der Hintergliedmassen, in Lehrbuch der speziellen Chirurgie für Tierärzte. Seite 462. 13. Auflage. Stuttgart, Verlag Enke.
4. **Sanders-Shamis, M., Bramlage, L. R., Gable, A. A. (1986):** Radius fracture in the horse: A retrospektive study of 47 cases. Equine vet. J. 18: Seiten 432-437.
5. **Auer, J. A., Watkins, J. P. (1987):** Treatment of radial fractures in adult horses: An analysis of 15 clinical cases. Equine vet. J. 19: Seiten 103-110.
6. **Liebich, H.-G., Forstenpointner, G., König, H. E.:** Einführung und allgemeine Anatomie, in Anatomie der Haussäugetiere. König H. E., Liebich, H. G. Seiten 9/10. 3. Auflage. Stuttgart, Verlag Schattauer.
7. **Budras, K.D., Fricke W. (1987):** Atlas der Anatomie des Hundes. Lehrbuch für Tierärzte und Studierende. 3. Auflage. Hannover, Verlag Schlütersche.
8. **Salomon, F.-V.(2005):** Bewegungsapparat, in Anatomie für die Tiermedizin. Salomon, F.-V., Geyer, H., Gille, U. Seite 30. Stuttgart, Verlag Enke.
9. **Steck, R. (2001):** Implications of Load-Induced Fluid Flow and Mass Transport on Functional Adaption of Bone Tissue. Diss. ETH Nr. 14272 Zürich.
10. **Currey, J. D. (2005):** Bone Architecture and Fracture. Curr. Osteoporos. Rep. 3: Seiten 52-56.
11. **Carter, D. R., Spengler, D. M. (2002):** Biomechanics of fracture, in Bone in Clinical Othopedics. Summer-Smith, G. Seiten 261-285. 2. Auflage. Stuttgart, New York, Verlag Thieme
12. **Richardson, D. W.:** Classification and Mechanics of Equine Fractures. Manuskript. Kennet Square, USA.
13. **Currey, J. D. (1970):** The mechanical properties of bone. Clin. Orthop. Relat. Res. 73: Seiten 210-231.

14. **Seiler, U., Hardmeier W. (1963):** Kraft und Masse, in Lehrbuch der Physik, Seite 18.
7. Auflage. Zürich, Polygraphischer Verlag.
15. **Seiler, U., Hardmeier W. (1963):** Die elastischen Eigenschaften fester Körper, in Lehrbuch der Physik, Seite 104.
7. Auflage. Zürich, Polygraphischer Verlag.
16. **Evans, F. G. (1957):** Stress and strain in bones.
Springfield, Verlag Charles C. Thomas.
17. **Matti, H. (1918):** Die Knochenbrüche und ihre Behandlung.
Berlin, Verlag Springer.
18. **Bergmann, L., Schaefer C. (1992):** Lehrbuch der Experimentalphysik.
Berlin, New York, Verlag Walter de Gruyter.
19. **Leitz, G. (1970):** Ursachen des Bruchverhaltens langer Röhrenknochen.
Stuttgart, Verlag Enke.
20. **Sellier, K. (1965):** Zur Mechanik des Knochenbruchs.
Dtsch. Z. ges. gerichtli. Med. 56: Seiten 341-348.
21. **Reilly, G. C., Currey J. D. (1999):** The development of microcracking and failure in bone depends on the loading mode to which it is adapted.
J. Exp. Biol. 202: Seiten 543-552.
22. **Schweike, B. (2005):** Erkrankungen des Fesselgelenks beim Arabischen Pferd.
Diss. med. vet. Zürich.
23. **Guduguntal, M., Subramaniam R. (2006):** Vertebroplasty - a new treatment for vertebral compression fractures.
Aust. Fam. Physician. May. Seiten 304-307.
24. **Schwartz, E., Steinberg D. (2005):** Detection of vertebral fractures.
Curr. Osteoporos. Rep. 3: Seiten 126-135.
25. **Stashak, T. S. (1989):** Lahmheit, in Adams' Lahmheiten bei Pferden. T.S. Stashak. Seiten 564/667/726.
4. Auflage. Hannover, Verlag M. & H. Schaper.
26. **Nunamaker, D. M., Butterweck, D. M., Provost M. T. (1990):** Fatigue fractures in thoroughbred racehorses: Relationship with Age, Peak Bone Strain, and Training.
J. Orthop. Res. 8: Seiten 604-611.
27. **Schille, A.-U. (2002):** Knochenverletzungen beim Pferd durch Schlagverletzungen-Klärung der Ätiopathogenese im Röntgenbild
Diss. med. vet. Berlin.

28. **Jäggin, S.:** Beurteilung der Knochenfestigkeit unter dynamischer Belastung beim Pferd
Diss. med. vet. Zürich, in Vorbereitung.
29. **Pschyrembel (1998):** Klinisches Wörterbuch.
Berlin, Verlag Walter de Gruyter.
30. **McIlwraith, W. O. (1989):** Erkrankungen der Gelenke, Sehnen, Bänder sowie ihrer Hilfseinrichtungen, in Adams' Lahmheit bei Pferden, T.S. Stashak.
Seite 470.
4. Auflage. Hannover, Verlag M. & H. Schaper
31. **Schwarz, P. D.:** Fracture classification and biomechanics of fractures and fracture fixation.
Manuskript Ohio.
32. **O'Sullivan, C. B., Lumsden J. M. (2003):** Stress fractures of the tibia and humerus in Thoroughbred racehorses: 99 cases (1992-2000).
J. Am. Vet. Med. Assoc. 222: Seiten 491-498.
33. **Ellis, D. (2002):** Fracture - A Preventable Hazard of racing Thoroughbreds.
Vet J. 163: Seiten 5-6.
34. **Riggs, C. M. (2002):** Fractures - A Preventable Hazard of Racing Thoroughbreds?
Vet J. 163: Seiten 19-29.
35. **Bateman, J. K. (1960):** The racing Greyhound.
Vet. Rec. 72: Seiten 893-897.
36. **Davis, P. E. (1967):** Track injuries in racing Greyhounds.
Aust. Vet. J. 43: Seiten 180-191.
37. **Struchen, C. F. (1992):** Untersuchung der Anwendbarkeit von drei verschiedenen Frakturklassifikationssystemen bei Frakturen der langen Röhrenknochen des Pferdes.
Diss. med. vet. Zürich.
38. **Lichtenhahn, P., Fernandez D. L., Schatzker J. (1991):** Analyse zur Anwenderfreundlichkeit der AO-Klassifikation für Frakturen.
Helv. chir. 58: Seiten 919-924.
39. **Müller, M. E., Nazarian S., Koch P. (1987):** Classification AO des fractures: I. Les os longs.
Berlin, Heidelberg, Verlag Springer.
40. **Murphy, W. M., Leu D. (2000):** Fracture classification: biological significance, in AO Principles of Fracture Management. Rüedi, T.P., Murphy, W.M. Seite 56.
Stuttgart, New York, Verlag Thieme.
41. **Unger, M., Montavon P. M., Heim U. F. A. (1990):** Classification of fractures of long bones in the dog and the cat: Introduction and clinical application.
Vet. Comp. Orthop. Traumatol. 3: Seiten 41-50.

42. **Unger, M. (1990):** Untersuchung der Anwendbarkeit der AO-Klassifikation der Frakturen der langen Röhrenknochen von Hund und Katze.
Diss. med. vet. Zürich.
43. **Prieur, W. D., Braden, T. D., von Rechenberg B. (1990):** A suggested fracture classification of adult small animal fractures.
Vet. Comp. Orthop. Traumatol. 3: Seiten 111-116.
44. **Fackelmann, G. E., Peutz, I. P., Norris, J. C., Auer, J. A., von Rechenberg, B. (1993):** The development of an Equine fracture documentation system.
Vet. Comp. Orthop. Traumatol. 6: Seiten 47-52.
45. **Derungs, S., Fürst, A. E., Haas, C., Geissbühler, U., Auer, J. A. (2001):** Fissure fractures of the radius and the tibia in 23 horses: a retrospektive study.
Equine vet. Educ. 13: Seiten 313-318.
46. **Watkins, J. P. (2006):** Radius and Ulna, in Equine Surgery. Auer J. A., Stick, J. A. Seiten 1273/1277.
3. Auflage. St. Louis, Verlag Saunders Elsevier.
47. **Bramlage, L. R. (2006):** Tibia, in Equine Surgery. Auer J. A., Stick, J. A. Seite 1309.
3. Auflage. St. Louis, Verlag Saunders Elsevier.
48. **Meier, D. (2006):** Mikro-computertomographische Untersuchung von Pferdeknochen.
Diss. med. vet. Zürich.
49. **Euler, E., Heining, S., Fischer, T., Pfeifer, K. J., Mutschler, W. (2002):** Erste klinische Erfahrungen mit dem Siremobil Iso-C 3D.
electromedica 70: Seiten 64-67.
50. **Ritter, D., Mitschke, M., Graumann, R. (2002):** Markerlose Navigation mit der intra-operativen Bildgebungsmodalität Siremobil Iso-C 3D.
electromedica 70: Seiten 47-52.
51. **Grützner, P. A., Hebecker, A., Waelti H., Vock, B., Nolte L.-P., Wentzensen A. (2003):** Klinische Studie zur registrierungsfreien 3D-Navigation mit dem mobilen C-Bogen Siremobil Iso-C 3D.
electromedica 71: Seiten 58-67.
52. **Nikolic, V., Hancevic, J., Hudec, M., Banovic, B. (1975):** Absorption of the impact energy in the palmar soft tissue.
Anat. Embryol. 148: Seiten 215-221.
53. **Currey, J. D. (1968):** The effect of protection on the impact strength of rabbits' bones.
Acta anat. 71: Seiten 87-93.
54. **Burstein, A. H., Currey, J. D., Frankel, V. H., Reilly, D. (1972):** The ultimate properties of bone tissue: the effects of yielding.
J. Biomech. 5: Seiten 35-44.

55. **Chuang, T. Y., Lieu, D. K. (1992):** A Parametric Study of the Thoracic Injury Potential of Basic Taskwondo Kicks.
J. Biomech. Eng. 114: Seiten 346-351.
56. **Teixeira, L. (1999):** Kinematics of kicking as a function of different sources of constraint on accuracy.
Percept Mot. Skills, June. Seiten 785-789.
57. **Barfield, W. (1998):** The biomechanics of kicking in soccer.
Clin. Sports Med. 17: 711-728.
58. **Lees, A., Nolan, L. (1998):** The biomechanics of soccer: a review.
J. Sports Sci. 1998. 16: Seiten 211-234.
59. **Levanon, J., Dapena, J. (1998):** Comparison of the kinematics of the full-instep and pass kicks in soccer.
Med. Sci. Sports Exerc. 30: Seiten 917-927.
60. **Adair, R. K. (1994):** Batting the ball, in The physics of baseball.
New York, Verlag Harper.
61. **McLean, B., Tumilty, D. (1993):** Left-right asymmetry in two types of soccer kick.
Br. J. Sports Med. 1993. 27: Seiten 260-262.
62. **Zioupus, P. (1998):** Recent developments in the study of failure of solid biomaterials and bone: 'fracture' and 'pre-fracture' toughness.
Materials Science and Engineering C6: Seiten 33-40.
63. **Martin, R. B., Stover, S. M., Gibson, V. A., Gibeling, J. C., Griffin, L. V. (1996):** In vitro fatigue behaviour of equine third metacarpus: remodeling and microcrack damage analysis.
J. Orthop. Res. 14: Seiten 794-801.
64. **Zioupus, P., Currey, J. D., Sedman, A. J. (1994):** An examination of the micromechanics of failure of bone and antler by acoustic emission tests and Laser Scanning Confocal microscopy.
Med. Eng. Phys. 16: Seiten 203-212.
65. **Feld, M. S., McNair, R. E., Wilk, S.R. (1979):** The Physics of Karate.
Sci. Am. 240: Seiten 150-158.
66. **Autefage, A. (2000):** The point of view of the veterinary surgeon: bone and fracture.
Injury, Int. J. Care Injured 31: S-C50-55.
67. **Rho, J.-Y., Currey, J. D., Zioupus, P., Pharr, G. M. (2001):** The anisotropic young's modulus of equine secondary osteones and interstitial bone determined by nanindentation.
J. Exp. Biol. 204: Seiten 1775-1781.

-
68. **Currey, J. D. (1999):** What determines the bending strength of compact bone?
J. Exp. Biol. 202: Seiten 2995-2503.
69. **Currey, J. D. (1990):** Physical characteristics affecting the tensile failure properties of compact bone.
J. Biomech. 23: Seiten 837-844.
70. **Riggs, C. M. (1999):** Aetiopathogenesis of parasagittal fractures of the distal condyles of the third metacarpal and third metatarsal bones-review of the literature.
Equine vet. J. 31: Seiten 116-120.
71. **Riggs, C. M. (1999):** Pathology of the distal condyles of the third metacarpal and third metatarsal bones of the horse.
Equine vet. J. 31: Seiten 140-148.
72. **Markel, M. D. and Lopez, M. J. (2006):** Bone Biology and Fracture Healing, in Equine Surgery, Auer J. A., Stick, J. A. Seite 994.
3. Auflage. St. Louis, Verlag Saunders Elsevier.
73. **Markel, M. D. (1996):** Fracture Biomechanics, in Equine Fracture Repair, Nixon, A.J. Seite 13:
Philadelphia, Verlag Saunders.
74. **Carter, D. R., Spengler, D. M. (2002):** Biomechanics of fracture, in Bone in Clinical Orthopedics. Summer-Smith, G. Seite 269.
Stuttgart, New York, Verlag Thieme.
75. **McElhaney, J. H. (1966):** Dynamic response of bone and muscle tissue.
J. Appl. Physiol. 21: Seiten 1231-1236.
76. **Schaffler, M. B., Pitchford, W. C., Choi, K., Riddle, J. M. (1994):** Examination of compact bone microdamage using backscattered electron microscopy.
Bone 15: Seiten 483-488.
77. **Lawrence, L., Otto E., Miller G., Poulos P., Piotrowski G. (1994):** The mechanical properties of equine metacarpals as affected by age.
J. Anim. Sci. 72: Seiten 2617-23.

7. Anhang

Die folgenden Seiten beinhalten die detaillierten Beschreibungen der Fraktur- und Fissurlinien aller untersuchten Knochen.

Abkürzungsverzeichnis für den Anhang

CT	Computertomographie
dist.	distal
etw.	etwa
Fx-Linie	Frakturlinie
KG-Nr.	Krankengeschichtennummer
Knochen-NR	Knochennummer
prox.	Proximal

Klassifikationskürzel siehe Abbildung 27, Kapitel 4.1.

Zur Orientierungshilfe für die Auswertungen am Computerbildschirm wurden die Knochen vor den Aufnahmen mit dem Röntgen-C-Bogen Siremobil Iso-C 3D durch drei Markierungen auf medialer Seite versehen:

1er Marke	Ca. 5 cm proximal der Schlaglokalisation
2er Marke	Schlaglokalisation
3er Marke	Ca. 5 cm distal der Schlaglokalisation

Knochen-NR: 1
KG-Nr. 1021391

RADIUS LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - 2a: - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend
 - 2b: etwas kranio-lateral
 - nach prox.: etwas nach kranial
 - nach distal: Richtung kranial
 - 2c: etwas kaudo-lateral
 - nach prox.: Richtung kaudal
- III. 3. Fx-Linie kranial (Höhe Impact)
 - nach distal: kranial bleibend
- IV. 4. Fx-Linie kaudal (Höhe Impact)
 - nach prox.: etwas Richtung lateral
- V. 5. Mehrere Kortikaldefekte unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

1. Proximal: 2c+4: Kommen lateral proximal der 2er Marke zusammen (Austritt Keil)
2. Distal: 2b+3: Kommen kranial distal der 2er Marke zusammen (Austritt Keil)

III. Frakturklassifikation

KEIL auf Gegenseite bezügl. Kraft	Ga1rl
→ Beginn mit Querfraktur	
→ sehr schmale Keilbasis, gezackte Linie	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ medial und lateral	
Zusätzliche Fragmente	>3fa

Knochen-NR: 2
KG-Nr. 1021391

RADIUS RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - prox.: medial bleibend; verschwindet distal der 1er Marke
 - distal: medial bleibend; nur kurz sichtbar
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
(etwas kranio-lateral)
 - prox.: Richtung kranial bis circa 1er Marke
- III. -
- IV. 3. Fx-Linie kaudal (Höhe Impact)
 - prox.: Richtung lateral; verschwindet proximal der 1er Marke
- V. 4. Mehrere Kortikaldefekte unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

-

III. Frakturklassifikation

QUERFRAKTUR	A
→ Höhe Impact; gezackte Linie	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ nach proximal	
→ nach medial und lateral	
Zusätzliche Fragmente	>3fa

Knochen-NR: 3
KG-Nr. 1021391

TIBIA LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - 1a: - nach prox.: medial bleibend
- nach distal: medial bleibend
 - 1b: etwas kranio-medial
- nach prox.: Richtung kranial und lateral
- nach distal: Richtung kranial
 - 1c: etwas kaudo-medial
- nach prox.: Richtung kaudal und lateral
- nach distal: Richtung kaudal und lateral
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend, dann Aufteilung in
 - 2.1: etwas Richtung kaudal
 - 2.2: etwas Richtung kranial
 - nach distal: lateral bleibend, distal der 3er Marke etwas kranial
- III. -
- IV. -
- V. 3. Mehrere Kortikaldefekte unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- | | | |
|--------------|---------|---|
| 1. Proximal: | 1b+2.1: | Kommen lateral kurz proximal der 1er Marke zusammen (Austritt Keil) |
| 2. Proximal: | 1c+2.2: | Kommen lateral bei 1er Marke zusammen (Austritt Keil) |
| 3. Distal: | 1c+2: | Kommen proximal der 3er Marke zusammen (Austritt Keil) |

III. Frakturklassifikation

KEIL auf Gegenseite bezügl. Kraft / fragmentiert	Ga2sl
→ Beginn mit Querfraktur	
→ längs fragmentiert	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ medial	
Zusätzliche Fragmente	>3fa

Knochen-NR: 4
KG-Nr. 1021391

TIBIA RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: med. bleibend, Ende prox. der 1er Marke
 - nach distal: med. bleibend, erreicht prox. 3er Marke nicht
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - (etwas latero-kranial)
 - nach prox.: latero-kranial bleibend
 - nach distal: latero-kranial bleibend
- III. 3. Fx-Linie kranial (Höhe Impact)
 - (etwas kranio-medial)
 - nach prox.: Richtung kranial + etwas lateral, geht in 2. über
- IV. 4. Fx-Linie kaudal (Höhe Impact)
 - (etwas kaudo-medial)
 - nach prox.: Richtung kaudal + lateral
 - nach distal: Richtung kaudal + lateral
- V. 5. Mehrere Kortikaldefekte direkt unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- | | | |
|--------------|--------|--|
| 1. Proximal: | 2+3+4: | Kommen lateral; prox. der 1er Marke, zusammen (Austritt Fraktur) |
| 2. Proximal: | 2+3: | 4 geht prox. zwischen 2er und 3er Marke in 2 über |
| 3. Distal: | 2+4: | Kommen lateral, distal der dist. 3er Marke zusammen (Austritt Fraktur) |

III. Frakturklassifikation

KEIL auf Gegenseite bezügl. Kraft	Ga1sl
→ Beginn mit Querfraktur	
Zusätzliche Fissur	fi
→ medial	
Zusätzliche Fragmente	>3fa

Knochen-NR: 5
KG-Nr. 1034063

RADIUS LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - 1a: - nach prox.: medial bleibend
- nach distal: medial bleibend
 - 1b: etwas kranio-medial
- nach prox.: kranial bleibend
- nach distal: kranial bleibend, kurz sichtbar
 - 1c: etwas kaudo-medial
- nach prox.:
 - 1c.1: Richtung lateral
 - 1c.2: Richtung medial
 - 1c.3: kaudal bleibend, etwas nach lateral
 - nach distal: Richtung kaudal und lateral
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.:
 - 2.1: Richtung kaudal
 - 2.2: Richtung kranial
 - nach distal: lateral bleibend, dann etwas nach kaudal
- III. -
- IV. -
- V. 3. Mehrere Kortikaldefekte unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- | | | |
|--------------|-----------|---|
| 1. Proximal: | 1c.1+2.1: | Kommen lateral proximal der 2er Marke zusammen |
| 2. Proximal: | 1b+2.2: | Kommen kranial bei der 1er Marke zusammen |
| 3. Distal: | 1c+2: | Kommen lateral zwischen 2er und 3er Marke zusammen (Austritt Fraktur) |

III. Frakturklassifikation

KEIL auf Gegenseite bezügl Kraft / fragmentiert	Gb1sk
→ Beginn mit Querfraktur	
→ nur proximal ausgebrochen	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ nach distal keilförmig	
Zusätzliche Fragmente	≤3fa

Knochen-NR: 6
KG-Nr. 1034063

RADIUS RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
- 1a: - nach prox.: medial bleibend
- nach distal: medial bleibend
 - 1b: etwas kranio-medial
- nach prox.: Richtung kranial und lateral
- nach distal: Richtung kranial und lateral
 - 1c: etwas kaudo-medial
- nach prox.: Richtung kaudal und lateral
- nach distal: Richtung kaudal und lateral
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
- nach prox.: lateral bleibend
- nach distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. -
- V. 3. Mehrere Kortikaldefekte unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- | | | |
|--------------|------------|--|
| 1. Proximal: | 1b+1c+2: | Kommen weit proximal lateral zusammen |
| 2. Distal: | 1c+2: | Kommen lateral bei proximaler 3er Marke zusammen |
| 3. Distal: | (1c+2)+1b: | Kommen lateral bei distaler 3er Marke zusammen (Austritt Keil) |

III. Frakturklassifikation

KEIL auf Gegenseite bezügl. Kraft / fragmentiert	Ga1ls
→ Beginn mit Querfraktur	
→ längs fragmentiert	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ medial	
Zusätzliche Fragmente	≤3fa

Knochen-NR: 7
KG-Nr. 1034063

TIBIA LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

PROXIMALER TEIL: KEINE CT-BILDER VORHANDEN

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - 1a: - nach distal: medial bleibend; kurz sichtbar
 - 1b: (etwas kranio-medial)
 - nach distal: kranio-medial bleibend; kurz sichtbar
 - 1c: (etwas kaudo-medial)
 - nach distal: Richtung medial; kurz sichtbar
- II. -
- III. -
- IV. -
- V. -

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- 1. Distal: 1b+1c: Gehen kranio-medial wenig distal der dist. 2er Marke ineinander über

III. Frakturklassifikation

SCHRÄGFRAKTUR B
 → nach proximal
 Zusätzliche Fragmente ≤3fa
 → keine Fissuren nach distal

Knochen-NR: 8
KG-Nr. 1034063

TIBIA RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: -1a: Richtung kaudal + etwas lateral
 - 1b: Richtung kaudal
 - nach distal: -1a: Richtung kaudal
 - 1b: Medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend, proximal der 1er Marke etwas Richtung kranial
 - nach distal: Richtung kaudal
- III. 3. Fx-Linie kranial (Höhe Impact)
 - nach prox.: Richtung kranial + lateral
 - nach distal: etwas Richtung lateral, bald auslaufend
- IV. -
- V. 4. Multiple Kortikaldefekte im Bereich des Impacts

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- 1. Proximal: 2+3: Kommen lateral, ein Stück proximal der 1er Marke, zusammen (Austritt Fraktur)
- 2. Distal: 1a+2: Kommen kaudal, distal der dist. 3er Marke, zusammen (Austritt Fraktur)

III. Frakturklassifikation

KEIL auf Gegenseite bezüglich Kraft / längs fragmentiert	Gb2sk
Zusätzliche Fissuren	fi
Zusätzliche Fragmente	>3fa

- Grosse Instabilität
- Gezackte Linie unter Impact

Knochen-NR: 9
KG-Nr. 1033829

RADIUS LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

Kein Schaden

III. Frakturklassifikation

Kein Schaden R

Knochen-NR: 10
KG-Nr. 1033829

RADIUS RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - 1a: - prox.: medial bleibend
 - distal: medial bleibend
 - 1b: etwas kranio-medial
 - distal: Richtung cranial + lateral
 - 1c: etwas caudo-medial
 - distal: Richtung kaudal + lateral
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - prox.: lateral bleibend
 - distal: lateral bleibend; distal der dist. 3er Marke etw. nach kaudal
- III. -
- IV. -
- V. 3. Mehrere Kortikaldefekte unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- 1. Distal: 1b+2: Kommen distal der proximalen 3er Marke lateral zusammen
- 2. Distal: (1b+2)+3: Kommen distal der dist. 3er Marke lateral zusammen (Austritt Fraktur)

III. Frakturklassifikation

SCHRÄGFRAKTUR	B
→ nach distal; Verlauf kaudo-lateral	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ medial und lateral, prox. u. distal	
Zusätzliche Fragmente	≤3fa
→ Instabil	

Knochen-NR: 11
KG-Nr. 1033829

TIBIA LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (von Impact ausgehend)
 - nach prox.: - 1a: Richtung kaudal + etwas lateral
 - 1b: Richtung kaudal
 - 1c: etwas Richtung kranial
 - nach distal: Richtung kranial
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - 2a: - nach prox.: Richtung lateral + etwas kaudal
 - nach distal: Richtung kranial
 - 2b: → aus 2a entstehend
 - nach prox.: Richtung kranial
- III. -
- IV. -
- V. 3. Mehrere Kortikaldefekte medial unterhalb des Impacts

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- | | | |
|--------------|--------|---|
| 1. Proximal: | 1a+2a: | Kommen latero-kaudal, distal der 1er Marke, zusammen (Austritt Fraktur) |
| 2. Distal: | 1+2a: | Kommen kranio-lateral, weit distal zusammen (Austritt Fraktur) |

III. Frakturklassifikation

LÄNGSFRAKTUR	D
→ vom Impact ausgehend	
Zusätzliche Fissuren	fi
Zusätzliche Fragmente	>3fa
→ Grosse Instabilität	

Knochen-NR: 13
KG-Nr. 1034231

RADIUS LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. -
- V. -

III. Frakturklassifikation

FISSUR
→ medial und lateral

O

Knochen-NR: 14
KG-Nr. 1034231

RADIUS RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. -
- V. -

III. Frakturklassifikation

FISSUR
→ medial und lateral

O

Knochen-NR: 15
KG-Nr. 1034231

TIBIA LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - 1a: - nach prox.: medial bleibend, proximal der 1er Marke etwas Richtung kaudal
 - nach distal: Richtung kranial
 - 1b: etwas kranio-medial
 - nach distal: Richtung kranial
 - 1c: etwas kaudo-medial
 - nach prox.: Richtung kaudal und lateral
 - nach distal: Richtung kaudal und lateral
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend, dann Aufteilung in
 - 2.1: lateral bleibend
 - 2.2: Richtung kranial
- III. -
- IV. -
- V. Mehrere Kortikaldefekte unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- | | | |
|--------------|---------|--|
| 1. Proximal: | 1c+2: | Kommen lateral proximal der 1er Marke zusammen (Austritt Keil) |
| 2. Distal: | 1c+2.1: | Kommen lateral zwischen 2er und 3er Marke zusammen |
| 3. Distal: | 1b+2.2: | Kommen kranial bei der distalen 3er Marke zusammen |

III. Frakturklassifikation

KEIL auf Gegenseite bezügl. Kraft	Gb2sk
→ Beginn mit Querfraktur	
→ Keil distal nicht ausgebrochen, nur kaudal ausgebrochen	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ nach distal keilförmig	
→ lateral und medial	
Zusätzliche Fragmente	≤3fa

Knochen-NR: 16
KG-Nr. 1034231

TIBIA RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - 1a: - prox.: Richtung kaudal
 - distal: medial bleibend
 - 1b: etwas kranio-medial
 - prox.: Richtung kranial und etwas lateral
 - distal: Richtung kranial
 - 1c: etwas kaudo-medial
 - prox.: Richtung kaudal und lateral
 - distal: Richtung kaudal
 - nach distaler 3er Marke Aufteilung:
 - Teil 1c.1: Richtung lateral
 - Teil 1c.2: Richtung medial
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - prox.: lateral bleibend
 - distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. -
- V. 4. Multiple Kortikaldefekte unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- | | | |
|--------------|----------|---|
| 1. Proximal: | 1b+2: | Kommen lateral zusammen |
| 2. Distal: | 1a+1c.2: | Kommen kaudo-medial, ein Stück distal der 3er Marke, zusammen (Fragment Keil) |

III. Frakturklassifikation

KEIL auf Gegenseite bezügl. Kraft / längs fragmentiert	Gb2sl
→ Beginn mit Querfraktur	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ medial und lateral	
Zusätzliche Fragmente	>3fa

Knochen-NR: 17
KG-Nr. 1033871

RADIUS LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend, verschwindet prox. der 1er Marke
 - nach distal: - 1a: medial bleibend, nur kurz sichtbar
 - 1b: Richtung kaudal und etwas lateral
 - 1c: Richtung kaudal, Aufteilung in
 - 1c.1: erst Richtung lateral
 - 1c.2: als zweite Richtung lateral
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend, nach 1er Marke etw. Richtung kranial
 - nach distal: lateral bleibend; distal der dist. 2er Marke Aufteilung in
 - 2a: Richtung lateral
 - 2b: Richtung kranial
- III. -
- IV. -
- V. -

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- 1. Distal: 1c.1+2a: Kommen lateral zwischen 2er und 3er Marke zusammen
- 2. Distal: 1c.2+2a: Kommen lateral distal zusammen (Austritt Fraktur)
- 3. Distal: 1b+2b: Kommen kranio-lateral, proximal der prox. 3er Marke, zusammen (Austritt Fraktur)

III. Frakturklassifikation

SCHRÄGFRAKTUR B
→ vom Impact ausgehend
→ gezackte Linie
Zusätzliche Fissuren fi
→ medial nach proximal gehend
→ lateral nach proximal und distal gehend

Knochen-NR: 18
 KG-Nr. 1033871

RADIUS RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - 1a: - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
 - 1b: etwas kranio-medial
 - nach prox.: Richtung lateral
 - 1c: etwas kaudo-medial
 - nach prox.: Richtung lateral
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. -
- V. 3. Mehrere Kortikaldefekte unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- 1. Proximal: 1b+1c: Kommen lateral proximal der 1er Marke zusammen
 (Austritt Fraktur)

III. Frakturklassifikation

SCHRÄGFRAKTUR	B
→ nach proximal, von medial nach lateral	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ medial und lateral	
Zusätzliche Fragmente	≤3fa
→ Fragment direkt unter Impact	

Knochen-NR: 19
KG-Nr. 1033871

TIBIA LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - 1a: - nach prox.: medial bleibend
- nach distal: medial bleibend
 - 1b: etwas kranio-medial
- nach distal: Richtung kranial und lateral
 - 1c: etwas kaudo-medial
- nach prox.: Richtung kaudal und lateral
- nach distal: Richtung kaudal und lateral
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. -
- V. 3. Mehrere Kortikaldefekte unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- | | | |
|--------------|----------|--|
| 1. Proximal: | 1c+2: | Kommen lateral proximal der 1er Marke zusammen (Austritt Keil) |
| 2. Distal: | 1b+1c+2: | Kommen lateral weit distal zusammen (Austritt Keil) |

III. Frakturklassifikation

KEIL auf Gegenseite bezügl. Kraft / fragmentiert	Gb3sl
→ Beginn mit Querfraktur	
→ längs fragmentiert, proximal nur kaudal, evt. ausgebrochen	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ medial, keilförmig nach distal	
Zusätzliche Fragmente	≤3fa

Knochen-NR: 20
KG-Nr. 1033871

TIBIA RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - 1a: - nach prox.: Richtung kaudal
- nach distal: medial bleibend
 - 1b: etwas kranio-medial
- nach prox.: Richtung kranial und lateral
- nach distal: Richtung kranial und lateral
 - 1c: etwas kaudo-medial
- nach distal: Richtung kaudal, lateral und etwas kranial
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend, prox. der prox. 3er Marke Richtung kranial
- III. -
- IV. -
- V. -

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

1. Proximal: 1b+2: Kommen kranio-lateral prox. der 1er Marke zusammen
2. Distal: 1c+2: Kommen lateral prox. der prox. 3er Marke zusammen
3. Distal: 1b+2: Kommen kranio-lateral distal der distalen 3er Marke zusammen (Austritt Fraktur)

III. Frakturklassifikation

SCHRÄGFRAKTUR	B
→ nach distal, von medial nach lateral	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ keilförmig nach proximal	
Zusätzliche Fragmente	≤3fa
→ grosses Fragment	
auf medialer Seite distal des Impacts	

Knochen-NR: 21
KG-Nr. 1019088

RADIUS LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - 1a: - nach prox.: medial bleibend
- nach distal: medial bleibend, kurz sichtbar
 - 1b: etwas kranio-medial
- nach prox.: Richtung kranial und lateral
 - 1c: etwas kaudo-medial
- nach prox.: Richtung kaudal und lateral
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. -
- V. 3. Mehrere Kortikaldefekte unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- 1. Proximal: 1c+2: Kommen lateral zusammen
- 2. Proximal: (1c+2)+1b: Kommen lateral proximal der 1er Marke zusammen

III. Frakturklassifikation

SCHRÄGFRAKTUR	B
→ nach proximal, von medial nach lateral	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ medial und lateral	
Zusätzliche Fragmente	≤3fa

Knochen-NR: 22
KG-Nr. 1019088

RADIUS RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend
- III. 3. Fx-Linie kranial (Höhe Impact)
 - nach prox.: kranial bleibend
 - nach distal: kranial bleibend
- IV. 4. Fx-Linie kaudal (Höhe Impact)
 - etwas kaudo-medial
 - nach prox.: Richtung lateral
 - nach distal: Richtung lateral
- V. 5. Mehrere Kortikaldefekte unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

1. Proximal: 2+4: Kommen lateral zwischen 2er und 1er Marke zusammen (Austritt Fraktur)
2. Distal: 2+4: Kommen lateral distal der 3er Marke zusammen (Austritt Fraktur)

III. Frakturklassifikation

SCHRÄGFRAKTUR	B
→ va. Richtung proximal, von medial nach lateral	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ kranial, lateral und medial	
Zusätzliche Fragmente	>3fa

Knochen-NR: 23
KG-Nr. 1019088

TIBIA LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - prox.: Richtung kaudal
 - distal: medial bleibend; verschwindet prox. der 3er Marke
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - prox.: lateral bleibend; kurz sichtbar
 - distal: lateral bleibend; kurz sichtbar
- III. -
- IV. -
- V. -

III. Frakturklassifikation

FISSUR
→ **medial** und lateral

O

Knochen-NR: 24
KG-Nr. 1019088

TIBIA RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - 1a: - nach prox.: medial bleibend, wenig nach kaudal
 - nach distal: medial bleibend
 - 1b: etwas kranio-medial
 - nach prox.: nach kranial und lateral
 - 1c: etwas kaudo-medial
 - nach prox.: nach kaudal und lateral
 - nach distal: nach kaudal und lateral
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend, dann Aufteilung in
 - 2.1: etwas nach kaudal
 - 2.2: etwas nach kranial
 - nach distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. -
- V. 3. Mehrere Kortikaldefekte unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- | | | |
|--------------|---------|--|
| 1. Proximal: | 1b+2.2: | Kommen lateral proximal der 1er Marke zusammen (Austritt Keil) |
| 2. Proximal: | 1c+2.1: | Kommen lateral distal der 1er Marke zusammen (Austritt Keil) |
| 3. Distal: | 1c+2: | Kommen lateral distal der 3er Marke zusammen (Austritt Keil) |

III. Frakturklassifikation

- KEIL auf Gegenseite bezügl. Kraft / fragmentiert Gb2sk
 → Beginnend mit Querfraktur
 → Keil prox. längs fragmentiert, distal nur kaudal vorhanden;
 nur kaudal ausgebrochen
 Zusätzliche Fissuren fi
 → medial
 Zusätzliche Fragmente ≤3fa
 → Grosse Instabilität

Knochen-NR: 25
KG-Nr. 1035063

RADIUS LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. -
- V. -

III. Frakturklassifikation

FISSUR O
→ lateral und medial

- Im CT schwierig zu erkennen
- von Auge nichts erkennbar

Knochen-NR: 26
KG-Nr. 1035063

RADIUS RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend, kurz sichtbar
 - nach distal: medial bleibend, kurz sichtbar
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend, kurz sichtbar
 - nach distal: lateral bleibend, kurz sichtbar
- III. 3. Fx-Linie kranial (Höhe Impact)
 - etwas kranio-lateral
 - nach prox.: Richtung lateral
 - nach distal: Richtung lateral
- IV. 4. Fx-Linie kaudal (Höhe Impact)
 - nach prox.: Richtung lateral
 - nach distal: Richtung lateral

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- 1. Proximal: 3+4: Kommen lateral weit proximal zusammen (Austritt Keil)
- 2. Distal: 3+4: Kommen lateral distal der 3er Marke zusammen (Austritt Keil)

III. Frakturklassifikation

KEIL auf Gegenseite bezügl. Kraft	Gb3sl
→ evt. proximal ausgebrochen	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ medial und lateral	

Knochen-NR: 27
KG-Nr. 1035063

TIBIA LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
- 1a: - nach prox.: medial bleibend
- nach distal: medial bleibend
 - 1b: etwas kranio-medial
- nach prox.: kranial bleibend
- nach distal: Richtung lateral
 - 1c: etwas kaudo-medial
- nach prox.: Richtung lateral
- nach distal: Richtung lateral
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
- nach prox.: lateral bleibend
- nach distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. -
- V. 3. Mehrere Kortikaldefekte unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- | | | |
|--------------|-------|--|
| 1. Proximal: | 1b+2: | Kommen lateral proximal der 1er Marke zusammen (Austritt Keil) |
| 2. Distal: | 1b+2: | Kommen lateral bei distaler 3er Marke zusammen (Austritt Keil) |
| 3. Distal: | 1c+2: | Kommen lateral distal der 3er Marke zusammen (Austritt Keil) |

III. Frakturklassifikation

- | | |
|--|-------|
| KEIL auf Gegenseite bezügl. Kraft / fragmentiert | Gb4Is |
| → direkt unter Impact | |
| → längs fragmentiert, proximal nur kaudal ausgebrochen | |
| Zusätzliche Fissuren | fi |
| → medial und lateral | |
| Zusätzliche Fragmente | >3fa |
| → grosses Fragment direkt unter Impact | |

Knochen-NR: 28
KG-Nr. 1035063

TIBIA RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - 1a: - nach prox.: Richtung kaudal
 - nach distal: medial bleibend
 - 1b: etwas kranio-medial
 - nach distal: Richtung kranial
 - 1c: etwas kaudo-medial
 - nach prox.: Richtung caudal und lateral
 - nach distal: Richtung medial
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend; kurz prox. 1er Marke Aufteilung:
 - 2.1: Richtung kaudal
 - nach distal: lateral bleibend; distal der 2er Marke Aufteilung:
 - 2.2: Richtung kranial
- III. -
- IV. -
- V. 3. Mehrere Kortikaldefekte unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- 1. Proximal: 1a+1c+2.1: Kommen lateral weit proximal zusammen (Austritt Fraktur)
- 2. Distal: 1b+2.2: Kommen kranial distal der 3er Marke zusammen (Austritt Fraktur)

III. Frakturklassifikation

S-FÖRMIGE SCHRÄGFRAKTUR

E

→ kranio-distal und kaudo-proximal herauskommend

Zusätzliche Fissuren

fi

→ medial und lateral

Zusätzliche Fragmente

>3fa

→ grosses Fragment nach distal auf medialer Seite

Knochen-NR: 29
KG-Nr. 1041656

RADIUS LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- III. -
- IV. -
- V. -

III. Frakturklassifikation

FISSUR O
→ medial und lateral ausgehend vom Impact

→ Im CT nicht sicher zu erkennen

Knochen-NR: 30
KG-Nr. 10141656

RADIUS RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- III. -
- IV. -
- V. -

III. Frakturklassifikation

FISSUR O

→ medial und lateral ausgehend vom Impact

→ Im CT nicht sicher zu erkennen

Knochen-NR: 31
KG-Nr. 1041656

TIBIA LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
- 1a: - nach prox.: medial bleibend
- nach distal: medial bleibend
 - 1b: etwas kranio-medial
- nach prox.: Richtung kranial und lateral
- nach distal: Richtung kranial und lateral
 - 1c: etwas kaudo-medial
- nach prox.: Richtung kaudal und lateral
- nach distal: Richtung kaudal und lateral
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
- nach prox.: lateral bleibend, dann Aufteilung in
 - 2.1: lateral bleibend
 - 2.2: etwas nach kranial
 - nach distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. -
- V. 3. Mehrere Kortikaldefekte unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- | | | |
|--------------|----------|--|
| 1. Proximal: | 1c+2.1: | Kommen lateral proximal der 1er Marke zusammen (Austritt Keil) |
| 2. Proximal: | 1b+2.2: | Kommen lateral proximal der 1er Marke zusammen (Austritt Keil) |
| 3. Distal: | 1b+1c+2: | Kommen lateral weit distal zusammen (Austritt Keil) |

III. Frakturklassifikation

KEIL auf Gegenseite bezügl. Kraft / fragmentiert	Gb2sl
→ beginnend mit Querfraktur	
→ längs fragmentiert	
→ Keil nur kaudal ausgebrochen	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ medial	
Zusätzliche Fragmente	>3fa

Knochen-NR: 32
KG-Nr. 1041656

TIBIA RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

KEIN SCHADEN

Knochen-NR: 33
KG-Nr. 1034354

RADIUS LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: nur kurz sichtbar
 - nach distal: etwas Richtung kranial
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: Richtung lateral
 - nach distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. 3. Fx-Linie kaudal (Höhe Impact)
 - nach prox.: etwas Richtung lateral
 - nach distal: Richtung medial, zurück nach kaudal + weiter lateral
- V. 4. Multiple Kortikaldefekte etwas distal der distalen 2er Marke

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- 1. Proximal: 2+3: Kommen lateral wenig proximal der prox. 2er Marke zusammen (Austritt Fraktur)
- 2. Distal: 2+3: Kommen lateral distal der dist. 3er Marke zusammen (nicht ganz ausgebrochen)

III. Frakturklassifikation

SCHRÄGFRAKTUR B
→ Richtung proximal, von medial nach lateral
Zusätzliche Fissuren fi
→ nach distal, keilförmig
Zusätzliche Fragmente ≤3fa

→ Mittelgradige Instabilität

Knochen-NR: 34
KG-Nr. 1034354

RADIUS RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. -
- V. -

III. Frakturklassifikation

FISSUR
→ medial und lateral

O

Knochen-NR: 35
KG-Nr. 1034354

TIBIA LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. -
- V. -

III. Frakturklassifikation

FISSUR
→ medial und lateral

O

Knochen-NR: 36
KG-Nr. 1034354

TIBIA RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. -
- V. -

III. Frakturklassifikation

FISSUR O
→ medial und lateral

→ von Auge keine Schädigungen sichtbar

Knochen-NR: 37
KG-Nr. 1034335

RADIUS RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. -
- V. -

III. Frakturklassifikation

FISSUR
→ medial und lateral

O

Knochen-NR: 38
KG-Nr. 1034335

RADIUS RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. -
- V. -

III. Frakturklassifikation

FISSUR
→ medial und lateral

O

Knochen-NR: 39
KG-Nr. 1034335

TIBIA LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - 1a: - prox.: medial bleibend
 - distal: medial bleibend
 - 1b: etwas kranio-medial
 - distal: Richtung kranial und lateral
 - 1c: etwas kaudo-medial
 - prox.: Richtung kaudal und lateral
 - distal: Richtung kaudal und lateral
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - prox.: lateral bleibend
 - distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. -
- V. -

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- 1. Proximal: 1c+2: Kommen lateral prox. der 1er Marke zusammen
(Austritt Fraktur)
- Distal: 1c+2: Kommen lateral distal der dist. 3er Marke zusammen
(Austritt Fraktur)
- 2. Distal: 1b+2: Kommen lateral weit distal zusammen

III. Frakturklassifikation

KEIL auf Gegenseite bezüglich Kraft	Gb2sk
→ beginnend mit Querfraktur	
→ nur kaudal ausgebrochen	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ kranial und distal keilförmig, medial	
Zusätzliche Fragmente	≤3fa
→ Mittelgradige Instabilität	

Knochen-NR: 40
KG-Nr. 1034335

TIBIA RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend):
 - 1a: - nach prox.: Richtung kaudal und lateral
 - nach distal: Richtung kaudal und lateral
 - 1b: - nach distal: Richtung kranial und lateral
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact):
 - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. -
- V. -

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- 1. Proximal: 1a+2: Kommen lateral dist. der 1er Marke zusammen (Austritt Fraktur)
- 2. Distal: 1b+2: Kommen lateral, ein Stück distal der dist. 3er Marke zusammen (Austritt Fraktur)

III. Frakturklassifikation

KEIL auf Gegenseite bezüglich Kraft	Gb2sk
→ direkt vom Impact ausgehend	
Zusätzlich Fissur	fi
→ Richtung disto-kaudo-lateral	

Knochen-NR: 41
KG-Nr. 1032197

RADIUS LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (aus Impact entstehend)
 - 1a: - prox.: medial bleibend
 - distal: medial bleibend
 - 1b: - prox.: Richtung kranial und lateral
 - distal: Richtung kranial und lateral
(Austritt distal der prox. 3er Marke)
 - 1c: - prox: medial bleibend, kurz proximal der 1er Marke
Richtung kaudal und weiter etwas lateral
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - prox.: lateral bleibend; kurz prox. 1er Marke etwas nach kranial;
distal der 1er Marke etwas nach lateral
 - distal: etwas Richtung kranial
- III. –
- IV. 3. Fx-Linie kaudal (Höhe Impact)
 - etwas medio-kaudal
 - prox.: Richtung kaudal und lateral (Austritt Fx-Linie)
 - distal: Richtung kaudal
- V. -

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- 1. Proximal: 2+3: Kommen lateral zwischen 2er + 3er Marke zusammen
- 2. Proximal: 1b+2: Kommen kranio-lat. prox. der 1er Marke zusammen
→ Austritt Keil
- 3. Distal: 1b+2: Kommen kranio-lat. dist. der 1er Marke zusammen
→ Austritt Keil

III. Frakturklassifikation

KEIL (auf Gegenseite bezügl. Kraft)	Gb2sk
→ Beginn mit Querfraktur	
→ nur kranial und lateral ausgebrochen	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ kaudo-distal keilförmig, medial	
Zusätzliche Fragmente	≤3fa
→ Grosse Instabilität	

Knochen-NR: 43
KG-Nr. 1032197

TIBIA LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - 1a: - nach prox.: medial bleibend
- nach distal: medial bleibend
 - 1b: etwas kranio-medial
- nach prox.: Richtung kranial und lateral
 - 1c: - nach prox.: Richtung kaudal und lateral
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend; kurz sichtbar
 - nach distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. -
- V. 3. Mehrere Kortikaldefekte unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

1. Proximal: 1b+1c: Kommen lateral weit proximal zusammen
(Austritt Fraktur)

III. Frakturklassifikation

SCHRÄGFRAKTUR	B
→ nach proximal; von medial nach lateral	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ medial und lateral	
Zusätzliche Fragmente	≤3fa

Knochen-NR: 44
KG-Nr. 1032197

TIBIA RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - 1a: - nach prox.: medial bleibend
- nach distal: medial bleibend, kurz sichtbar
 - 1b: etwas kranio-medial
- nach prox.: Richtung kranial und lateral
- nach distal: Richtung medial
 - 1c: etwas kaudo-medial
- nach prox.: Richtung kaudal und lateral
- nach distal: Richtung medial
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend, kurz sichtbar
 - nach distal: lateral bleibend, kurz sichtbar
- III. -
- IV. -
- V. -

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

1. Distal: 1b+1c: Kommen distal der 2er Marke zusammen
(Austritt Fraktur)

III. Frakturklassifikation

SCHRÄGFRAKTUR	B
→ nach proximal, von medial nach lateral	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ medial Richtung proximal, lateral	
Zusätzliche Fragmente	≤3fa
→ Fragment medial	

Knochen-NR: 45
KG-Nr. 1034333

RADIUS LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend
- III. 3. Fx-Linie kranial (Höhe Impact)
 - nach prox.: Richtung lateral
 - nach distal: kranial bleibend
- IV. 4. Fx-Linie kaudal (Höhe Impact)
 - nach prox.: Richtung lateral
 - nach distal: kaudal bleibend
- V. 5. Mehrere Kortikaldefekte unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

1. Proximal: 1+4: Kommen lateral proximal der 2er Marke zusammen (Austritt Fraktur)

III. Frakturklassifikation

SCHRÄGFRAKTUR	B
→ va. Richtung proximal, gezackte Linie	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ medial und lateral	
Zusätzliche Fragmente	>3fa

Knochen-NR: 46
KG-Nr. 103433

RADIUS RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend, kurz sichtbar
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend, gegen proximal etwas kranial
 - nach distal: lateral bleibend, kurz sichtbar
- III. 3. Fx-Linie kranial (Höhe Impact)
 - nach prox.: Richtung lateral
 - nach distal: Richtung lateral
- IV. 4. Fx-Linie kaudal (Höhe Impact)
 - nach prox.: Richtung lateral
- V. 5. Mehrere Kortikaldefekte unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

1. Proximal: 3+4: Kommen lateral zwischen 2er und 1er Marke zusammen (Austritt Keil)

III. Frakturklassifikation

Querfraktur	A
→ gezackte Linie	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ distal keilförmig kranio-lateral, medial und lateral	
Zusätzliche Fragmente	≤3fa
→ grosses Fragment kranial	

Knochen-NR: 47
KG-Nr. 1034333

TIBIA LATERAL

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- III. -
- IV. -
- V. -

III. Frakturklassifikation

FISSUR O

→ medial und lateral ausgehend vom Impact

→ Im CT nicht sicher zu erkennen

Knochen-NR: 48
KG-Nr. 1034333

TIBIA RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
- 1a: - nach prox.: Richtung kaudal und etwas lateral
 - nach distal: Richtung kaudal
 - 1b: (etwas kranio-medial)
 - nach prox.: Richtung kranial und etwas lateral
 - nach distal: Richtung kranial und etwas lateral
 - 1c: (etwas kaudo-medial)
 - nach prox.: Richtung kaudal und lateral
 - nach distal: Richtung kaudal und etwas lateral
- II. -
- III. -
- IV. -
- V. 2. Mehrere Kortikaldefekte unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- | | | |
|--------------|--------|--|
| 1. Proximal: | 1b+1c: | Kommen lateral weit prox. zusammen
(Austritt Fraktur) |
| 2. Distal: | 1a+1c: | Kommen kaudal, bei prox. 3er Marke
zusammen |

III. Frakturklassifikation

SCHRÄGFRAKTUR	B
→ nach proximal, von medial nach lateral	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ nach distal, keilförmig	
Zusätzliche Fragmente	>3fa

Knochen-NR: 49
KG-Nr. 1034533

RADIUS LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend
- II. -
- III. -
- IV. -

III. Frakturklassifikation

FISSUR O
→ **medial** und lateral

→ von Auge keine Schädigung sichtbar

Knochen-NR: 50
KG-Nr. 1034533

RADIUS RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- II. -
- III. -
- IV. -

III. Frakturklassifikation

FISSUR

O

→ medial und lateral ausgehend vom Impact

→ Im CT nicht sicher zu erkennen

Knochen-NR: 51
KG-Nr. 1034533

TIBIA LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: Richtung kaudal und etwas lateral
 - nach distal: etwas Richtung kaudal
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - 2a: - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend
 - bei dist. 3er Marke Aufteilung
 - 2a.1: etwas Richtung kranial
 - 2a.2: etwas Richtung kaudal
 - 2b: Aus 2a entstehend; wenig distal vom Impact
 - nach distal: Richtung kaudal
 - 2c: Aus 2b entstehend; proximal der prox. 3er Marke
 - nach distal: Richtung kaudal
- III. 3. Fx-Linie kranial (Höhe Impact)
 - nach prox.: Richtung kranial und lateral
 - nach distal: nach medial auslaufend
- IV. -
- V. -

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- 1. Proximal: 1+2: Kommen lateral, etwas prox. der 1er Marke, zusammen (Austritt Fraktur)
- 2. Proximal: 2+3: 3. geht bei 1er Marke in 1. über
- 3. Bei Impact: 1+3: Gleicher Ursprungspunkt Innenseite Kortex
- 4. Distal: 1+2b+2d: Kommen medio-kaudal, distal der dist. 3er Marke, zusammen (Austritt Fraktur)

III. Frakturklassifikation

SCHRÄGFRAKTUR	B
→ nach proximal, von medial nach lateral	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ nach distal, keilförmig	
Zusätzliche Fragmente	≤3fa
→ Grosse Instabilität	

Knochen-NR: 52
KG-Nr. 1034533

TIBIA RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - prox.: Richtung kaudal; verschmilzt mit 2
 - distal: medial bleibend; verschwindet distal der dist. 3er Marke
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - prox.: lateral bleibend
 - distal: Richtung kaudal; verschwindet bei proximaler 3er Marke
- III. -
- IV. 3. Fx-Linie kaudal (Höhe Impact)
 - prox.: etwas Richtung medial; verschmilzt proximal der 1er Marke lateral mit 1 (Fragment)
 - distal: kaudal bleibend; kurz sichtbar
- V. -

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- 1. Proximal: 1+3: Kommen kaudo-lateral prox. der 1er Marke zusammen
→ Fragment des Keils
- 2. Proximal: 1+2: Kommen weit proximal zusammen (Austritt Keil)

III. Frakturklassifikation

KEIL auf Gegenseite bezügl. Kraft / fragmentiert	Gb3sk
→ Beginnend mit Querfraktur, gezackte Linie	
→ Nach proximal und kaudal ausgebrochen	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ nach distal keilförmig	
→ medial und lateral	
Zusätzliche Fragmente	>3fa
→ grosses Fragment kaudo-medial, direkt unter Impact	
→ Mittelgradige Instabilität	

Knochen-NR: 53
KG-Nr. 1014075

RADIUS LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend
- II. -
- III. -
- IV. -

III. Frakturklassifikation

FISSUR
→ medial und lateral

O

Knochen-NR: 54
SCHNEIDER 1014075

RADIUS RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend
- II. -
- III. -
- IV. -

III. Frakturklassifikation

FISSUR
→ lateral und medial

O

- Im CT schwierig zu erkennen
- Von Auge nur mediale Fissur erkennbar

Knochen-NR: 55
KG-Nr. 1014075

TIBIA LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend, nur kurz sichtbar
 - nach distal: -1a: Richtung kranial und etw. lateral
 - 1b: Richtung kaudal und lateral und etwas kranial
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral verlaufend, verschwindet ca. bei 1er Marke
 - nach distal: lateral verlaufend, ab prox. 3er Marke Richtung kranial
- III. -
- IV. -
- V. 3. Mehrere Kortikaldefekte medial unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- 1. Distal: 1b+2: Kommen lateral, bei prox. 3er Marke zusammen
- 2. Distal: 1a+2: Kommen kranio-lateral, distal der dist. 3er Marke zusammen (Austritt Fraktur)

III. Frakturklassifikation

SCHRÄGFRAKTUR B
→ vom Impact ausgehend nach distal
Zusätzliche Fissuren fi
→ lateral nach proximal & distal
Zusätzliche Fragmente ≤3fa

→ Mittelgradige Instabilität

Knochen-NR: 56
KG-Nr. 1014075

TIBIA RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - 1a: (etwas kranio-medial)
 - nach prox.: Richtung kranial
 - nach distal: Richtung kranial
 - 1b: (etwas kaudo-medial)
 - nach prox.: Richtung kaudal und etwas lateral
 - nach distal: Richtung caudal und etwas lateral
 - 1c:
 - nach prox.: medial bleibend, prox. der 1er Marke etw. Richtung kaudal
 - nach distal: medial bleibend; nur kurz sichtbar
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - 2a:
 - nach prox.: lateral bleibend, prox. der 1er Marke etwas kranial
 - nach distal: lateral bleibend, distal der dist. 3er Marke etwas Richtung kranial
 - 2b: → aus 2a entstehend (distal der dist. 3er Marke)
 - nach distal: Richtung kranial
- III. -
- IV. -
- V. -

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- | | | |
|--------------|--------|--|
| 1. Proximal: | 1a+2a: | Kommen latero-kranial, prox. der 1er Marke zusammen (Austritt Fraktur) |
| 2. Distal | 1a+2a: | Kommen latero-kranial, weit distal, zusammen |
| 3. Distal | 1b+1c: | Kommen latero-kaudal, distal der dist. 3er Marke zusammen |

III. Frakturklassifikation

KEIL fragmentiert/auf Gegenseite bezügl. Kraft	Ga2sl
→ Beginn mit Querfraktur	
→ Keil längs fragmentiert	
Zusätzliche Fissuren	fi
Zusätzliche Fragmente	>3fa
→ Grosse Instabilität	

Knochen-NR: 58
KG-Nr. 103469

RADIUS RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- III. -
- IV. -
- V. -

III. Frakturklassifikation

FISSUR O

→ medial und lateral ausgehend vom Impact

→ Im CT nicht sicher zu erkennen

Knochen-NR: 59
KG-Nr. 1034369

TIBIA LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: Richtung kranial
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend; dann Aufteilung:
 - 2.1: lateral bleibend
 - 2.2: etwas Richtung kaudal
 - nach distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. 3. Fx-Linie kaudal (Höhe Impact)
 - nach prox.: Richtung lateral
 - nach distal: Richtung lateral
- V. -

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- | | | |
|--------------|--------|--|
| 1. Proximal: | 2.2+3: | Kommen lateral prox. der 1er Marke zusammen (Austritt Fraktur) |
| 2. Distal: | 2+3: | Kommen lateral dist. der dist. 3er Marke zusammen (Austritt Fraktur) |

III. Frakturklassifikation

KEIL auf Gegenseite bezüglich Kraft
 → über Fissur mit Impact verbunden, kaudal ausgebrochen
 Zusätzliche Fissur (vom Impact ausgehend)
 → von medio-proximal nach kranio-distal

Gb2sk

fi

Knochen-NR: 60
KG-Nr. 1034369

TIBIA RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - 1a: - nach prox.: Richtung kaudal
- nach distal: medial bleibend
 - 1b: etwas kranio-medial
- nach prox.: Richtung kranial und lateral
- nach distal: Richtung medial
 - 1c: etwas kaudo-medial
- nach prox.: Richtung kaudal und lateral
- nach distal: Richtung medial
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. -
- V. 3. Mehrere Kortikaldefekte unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

1. Distal: 1b+1c: Kommen distal der 2er Marke zusammen
(Austritt Fraktur)

III. Frakturklassifikation

SCHRÄGFRAKTUR	B
→ Richtung proximal, von medial und lateral	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ medial Richtung proximo-kaudal, lateral	
Zusätzliche Fragmente	≤3fa

Knochen-NR: 62
KG-Nr. 1018920

RADIUS RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- III. -
- IV. -
- V. -

III. Frakturklassifikation

FISSUR O
→ medial und lateral ausgehend vom Impact

→ Im CT nicht sicher zu erkennen

Knochen-NR: 64
KG-Nr. 1018920

TIBIA RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. -
- V. -

III. Frakturklassifikation

FISSUR
→ medial und lateral

O

Knochen-NR: 65
KG-Nr. 1034504

RADIUS LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: Richtung kaudal und lateral
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend
- III. 3. Fx-Linie kranial (Höhe Impact)
 - 3a: etwas kranio-lateral
 - nach prox.: Richtung lateral
 - nach distal: Richtung kranial
 - 3b: etwas kranio-medial
 - nach distal: Richtung medial
- IV. 4. Fx-Linie kaudal (Höhe Impact)
 - nach prox.: Richtung lateral
 - nach distal: etwas Richtung medial
- V. 5. Mehrere Kortikaldefekte unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- | | | |
|--------------|-------|---|
| 1. Proximal: | 3a+4: | Kommen lateral wenig proximal der 2er Marke zusammen (Austritt Fraktur) |
| 2. Proximal: | 1+2: | Kommen lateral weit proximal zusammen (Austritt Keil) |
| 3. Distal: | 1+3b: | Kommen medial distal der 2er Marke zusammen (Austritt Fragment) |

III. Frakturklassifikation

- | | |
|--|-------|
| KEIL auf Gegenseite bezüglich Kraft | Gb1sk |
| → beginnend mit Querfraktur | |
| → kaudal ausgebrochen, vom Impact nach proximal | |
| Zusätzliche Fissur | fi |
| → lateral | |
| Zusätzliche Fragmente | ≤3fa |
| → ein Fragment direkt beim Impact von medial nach distal | |

Knochen-NR: 66
SUDLER 1034504

RADIUS RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - prox.: medial bleibend; kurz sichtbar
 - distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - prox.: lateral bleibend; kurz sichtbar
 - distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. -
- V. -

III. Frakturklassifikation

FISSUR
→ medial und lateral

O

Knochen-NR: 67
KG-Nr. 1034504

TIBIA LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - 1a: - nach prox.: etwas Richtung kaudal
- nach distal: medial bleibend
 - 1b: etwas kranio-medial
- nach prox.: Richtung kranial und lateral
- nach distal: kranio-medial bleibend, nur ganz oberflächlich
 - 1c: etwas kaudo-medial
- nach prox.: Richtung kaudal und lateral
- nach distal: kaudo-medial bleibend, nur ganz oberflächlich
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. -
- V. 3. Mehrere Kortikaldefekte unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- | | | |
|--------------|--------|---|
| 1. Proximal: | 1b+1c: | Kommen lateral weit proximal zusammen (Austritt Fraktur) |
| 2. Distal: | 1b+1c: | Kommen lateral proximal der 3er Marke zusammen (Austritt Fraktur) |

III. Frakturklassifikation

SCHRÄGFRAKTUR	B
→ nach proximal; von medial nach lateral	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ medial und lateral	
Zusätzliche Fragmente	≤3fa

Knochen-NR: 68
KG-Nr. 1034504

TIBIA RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: etwas Richtung kaudal
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. -
- V. -

III. Frakturklassifikation

FISSUR
→ medial und lateral

O

Knochen-NR: 69
KG-Nr. 1031274

RADIUS LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. -
- V. -

III. Frakturklassifikation

FISSUR
→ medial und lateral

O

Knochen-NR: 70
KG-Nr. 1031274

RADIUS RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- III. -
- IV. -
- V. -

III. Frakturklassifikation

FISSUR O
→ medial und lateral ausgehend vom Impact

→ Im CT nicht sicher zu erkennen

Knochen-NR: 71
KG-Nr. 1042374

TIBIA LINKS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- III. -
- IV. -
- V. -

III. Frakturklassifikation

FISSUR O
→ medial und lateral ausgehend vom Impact

→ Im CT nicht sicher zu erkennen

Knochen-NR: 72
KG-Nr. 1031274

TIBIA RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehen)
 - nach prox.: Richtung kranial und lateral
 - nach distal: etwas Richtung kaudal, bald auslaufend
- II. -
- III. 2. Fx-Linie kranial (Höhe Impact)
 - nach prox.: etwas Richtung lateral
 - nach distal: Richtung lateral
- IV. 3. Fx-Linie kaudal (Höhe Impact)
 - nach prox.: Richtung kaudal und lateral
- V. 4. Mehrere Kortikaldefekte medial direkt unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- | | | |
|--------------|--------|--|
| 1. Proximal: | 1+2+3: | Kommen lateral zusammen
→ CT nicht mehr sichtbar |
| 2. Distal: | 2+3: | Kommen lateral, proximal der prox. 3er
Marke, zusammen (Austritt Fraktur) |

III. Frakturklassifikation

KEIL auf Gegenseite bezüglich Kraft	Gb1sk
→ Beginn mit Querfraktur	
→ nur kaudal und distal ausgebrochen	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ nach proximal, keilförmig	
Zusätzliche Fragmente	>3fa
→ Massive Instabilität	

Knochen-NR: 74
KG-Nr. 1034311

RADIUS RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - nach prox.: medial bleibend
 - nach distal: medial bleibend
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend
 - nach distal: lateral bleibend
- III. -
- IV. -
- V. -

III. Frakturklassifikation

FISSUR O
→ medial und lateral

Knochen-NR: 75
KG-Nr. 1034311

TIBIA LINKS

III. Frakturklassifikation

KEIN SCHADEN R

Knochen-NR: 76
KG-Nr. 1034311

TIBIA RECHTS

I. Beschreibung der Kortikaldefekte

- I. 1. Fx-Linie medial (vom Impact ausgehend)
 - 1a: - prox.: medial bleibend
 - 1b: etwas kranio-medial
 - prox.: Richtung kranial und lateral
 - distal: Richtung kranial und lateral
 - 1c: etwas kaudo-medial
 - prox.: Richtung kaudal und lateral
 - distal: Richtung kaudal und etwas lateral
- II. 2. Fx-Linie lateral (Höhe Impact)
 - nach prox.: lateral bleibend; kurz sichtbar
 - nach distal: lateral bleibend; kurz sichtbar
- III. -
- IV. -
- V. 3. Mehrere Kortikaldefekte unter Impact

II. Beziehung der Kortikaldefekte zueinander

- 1. Proximal: 1b+1c: Kommen prox. der 1er Marke lateral zusammen
(Austritt Fraktur)

III. Frakturklassifikation

KEIL auf Gegenseite bezüglich Kraft	Ga1sk
→ beginnend mit Querfraktur	
Zusätzliche Fissuren	fi
→ medial und lateral	
Zusätzliche Fragmente	>3fa
→ Instabil	

8. Danksagung

Zu Beginn ein herzliches Dankeschön an alle Personen, die zum Gelingen dieser Dissertation beigetragen haben. Im Besonderen an:

Prof. Dr. med. vet. J.A. Auer für die Übernahme des Referates.

Prof. Dr. med. vet. H. Geyer für die Übernahme des Korreferates.

Dr. med. vet. A. Fürst, für die Überlassung des Themas sowie seine ausgezeichnete Betreuung.

S. Jäggin, D. Meier und den Mitarbeitern der EMPA Dübendorf für die Durchführung der Bruchversuche und die konstruktive Zusammenarbeit.

V. Burger, B. Gerzner und P. Müller für das Sammeln und Lagern der Knochen.

U. Müller für seine stetige Hilfe bei der Präparation und Vorbereitung der Knochen.

T. Haab und A. Hug für die zahlreichen Zeichnungen und Fotos.

R. Egle für seine treue Hilfe bei allen Problemen rund um den Computer.

Ein spezieller Dank gilt zudem:

Mom und Dad für alles was Ihr seid und Eure beständige hundertprozentige Unterstützung auf meinem Lebensweg.

Armin Reding, Du bist mein Fels in der Brandung, Mitkämpfer in allen möglichen und unmöglichen Lebenslagen. Gemeinsam mit Dir zu leben, lieben und lachen lässt tausende von Schmetterlingen Purzelbäume schlagen.

Chrigel Probst für Deinen unerschütterlichen Glauben an das gute Gelingen dieser Arbeit und für all die unvergesslichen Momente, die wir bislang zusammen mit den Pferden erleben durften.

Meiner Grossfamilie Erika, Franz, Bruno, Izabel, Wesley und Izamara Reding für den Jubel, Trubel und die Heiterkeit, die im gelegentlichen finsternen Dschungel der Wissenschaft für Sonnenschein sorgte.

Meiner Schwester Sonja und Ihrer Familie Adi, Lukas und Lina für Eure aufstellende moralische Unterstützung.

Urs Greter, für Deine mentale Unterstützung und all die grosszügig gewährten Freitage, die ich für dieses Projekt benötigte.

Dani Meier für Deine selbstlose Hilfe und das Korrekturlesen dieser Arbeit.

...und zu guter letzt ein Dank an alle meine Freunde und Bekannte, die mich in irgendeiner Weise bei dieser Arbeit unterstützt haben.

Lebenslauf

Persönliche Angaben

Name	Susanne Katherina Sian-Ling Oswald
Adresse	Berchtwil 10 CH-6343 Rotkreuz
Geburtsdatum	01.10.1977
Geburtsort	Brugg (AG)
Heimatort	Niederurnen (GL), Canberra (Australien)

Schulbildung

1984 - 1989	Primarschule Klingnau
1989 - 1993	Bezirksschule Klingnau
1993 - 1998	Kantonsschule Baden, Maturität Typ C

Studium

1998 - 2003	Studium der Veterinärmedizin an der Universität Zürich
Nov. 2003	Staatsexamen an der Universität Zürich

Südamerikanisches Intermezzo

Nov. 03 - März 04	Zu Fuss, zu Pferd und per Bus von Equador nach Argentinien
-------------------	--

Beruflicher Werdegang

Seit April 04	Assistentin in der Kleintierpraxis Dr. Greter, Ebikon LU
Jan. 05 - Dez. 06	Doktorandin an der Abteilung Pferdechirurgie der Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich